

# 茶白山地すべりの記録

1997年12月

長野県土尻川砂防事務所



# 茶臼山地すべりの記録

1997年12月

長野県土尻川砂防事務所



## まえがき

茶臼山地すべりは、明治 17 年（1884 年）に茶臼山南峰の頂上付近に亀裂が入ったことが始まりと言われており、その誘因になったものは、弘化 4 年（1847 年）の善光寺地震ではないかとみられています。

明治末に対策工事に着手以来、ほぼ 100 年間に渡り人間の英知を尽くしての地すべりに対する取り組みが行われ、平成 9 年度を持って概成の運びとなりました。茶臼山地すべりの歴史は、日本の地すべり対策の歴史であると言っても過言ではないと思います。平成 9 年 10 月 19 日には多数の市民の方の参加を得て、事業の概成を記念して砂防フェスティバルを盛大に開催することができました。地すべり跡地が植物園・恐竜公園に生まれ変わり、市民の憩いの場となっている現在の様子を見て、長年対策に取り組まれた皆様には万感胸に迫るものがあったと思います。

本誌は地すべり対策事業に伴う諸調査・諸観測・工事記録等の貴重な資料を整理・収録したものであり、今後の地すべり対策事業の参考になれば幸いと存じます。

終わりに、今後とも厳密な維持管理により再発を防止し、市民の皆様にも有効利用されることを期待し、長年に亘りご指導とご援助を賜りました関係機関、関係各位に心から敬意を表し感謝申し上げます。

平成 9 年 12 月

土尻川砂防事務所長

宮 島 孝 夫



## ごあいさつ

長野県は、3,000m級の山々に四方を囲まれ、豊かな自然環境を有しています。反面、急峻な地形や複雑な地質構造をもっており、地すべりなど土砂災害発生の恐れがある危険な地域を数多く抱えています。特に地すべり危険箇所は全国の約10%を占めています。

茶臼山地すべりは長野県の地すべりの代表的な存在で、明治初期から現在まで100年以上にわたって地すべり活動が継続してきました。その間、活動の活発な時期には年間移動量が100メートル近くに達し、人家の移転や耕作地の荒廃など住民生活に深刻な影響を与えてきました。

このような状況の中で明治末期より対策工事が行われ、約100年という長い間、激しく活動する地すべりに対処してまいりました。特に昭和20年代から40年代にかけては、新しい調査技術の導入や集水井筒工、深井戸工、砂防堤など厳しい現場状況下で創意工夫を凝らしながら対策を行っております。それらは現代の地すべり対策技術の教科書となるような調査法および防止工法であり、諸先輩方の努力の賜物であります。

その結果、昭和60年代以降は対策工の効果が顕著にあらわれ、現在ではほぼ活動は沈静化したため、平成9年度をもちまして対策事業は概成しました。

今後とも、茶臼山地すべり地の適正な維持管理に努めるとともに、県土の保全及び県民の生命と財産を守るために、地すべり対策事業を一層促進してまいります。

平成9年12月

長野県土木部参事兼砂防課長

近藤 浩一

ごあいさつ

まえがき

1. 地すべりの概況-----	1
2. 地形・地質の概要-----	6
3. 地すべりの沿革	
3-1. 沿革の概要-----	9
3-2. 地すべり発達の各時期における地盤変動特性	
(1) 第2期の変動-----	12
(2) 第3期の変動-----	12
(3) 第4期の変動-----	14
(4) 第5期の変動-----	14
4. 地すべり機構調査	
4-1. 調査の歴史-----	17
4-2. 地すべり地の地下構造および地すべり面	
(1) ボーリング調査により判明した地下構造-----	20
(2) 地すべり発生地帯の地すべり面の位置と地質との関係-----	24
(3) 地すべり発生地帯の地すべり断面-----	25
(4) 新規亀裂地帯の地すべり面-----	26
(5) 不動島付近の地すべり面-----	28
(6) 二次的地すべり地帯下流部の地すべり面-----	29
4-3. 地すべり土塊および基盤岩の土質特性-----	32
4-4. 地すべり土塊の移動状況	
(1) 1970年までの調査から判明した移動特性	
① 移動方向-----	37
② 滑動の周期性-----	37
③ 滑動の活発な時期と緩慢な時期の移動状況の差違-----	37
④ 地区による移動速度の差違-----	37
⑤ 地下水位と移動量の関係-----	38
⑥ 降水量と移動量の関係-----	38
⑦ 松代群発地震の影響-----	39
(2) 近年の移動状況	
① 総移動量の変化-----	41
② 各測線の移動状況の特徴-----	44
③ 地下水位と移動量の関係-----	50
④ 降雨と移動量の関係-----	51
⑤ 排水工事の影響-----	52
⑥ 昭和50年代後半以後の主として二次的地すべり地帯における局部的変動-----	54
4-5. 地表水・地下水の性質	
(1) 地表水・地下水の流入経路-----	56
(2) 地すべり地内の地下水賦存状況-----	59
(3) 水質-----	62
(4) 二次的地すべり地帯の地下水-----	66



(5) 集水井の効果判定調査-----	69
4-6. 地すべり機構の特性-----	76
5. 防止対策	
5-1. 防止対策の歴史	
(1) 昭和初期までの地すべり対策-----	82
(2) 昭和10年代の対策工事-----	82
(3) 昭和20年代の対策工事-----	82
(4) 昭和30年代の対策工事-----	83
5-2. 昭和40年代以後の防止対策について	
(1) 深井戸工・集水井筒工・ライナープレート集水井工-----	84
(2) 排水トンネル工-----	88
(3) 鋼管杭挿入工-----	90
(4) 地下水遮断工(遮水壁工)-----	91
(5) 水路工-----	92
(6) 保全整備工-----	93
5-3. 安定化の経過から考察される対策工事の効果-----	98
5-4. 地下水排除施設の機能維持について-----	99
6. 跡地利用	
6-1. 利用計画-----	100
6-2. 自然動植物園の概要-----	101
6-3. その他-----	102
文 献-----	103
写 真-----	105
資 料	
1. 移動測線平均月間移動量表-----	151
2. 移動杭月間移動量表-----	158
3. トンネル排水量・降水量・地下水位・移動量対照表-----	186
4. 地下水位・トンネル排水量変動図-----	204
付 図	
地すべり対策施設位置図 S=1:2000      1 葉	

# 1. 地すべりの概況

茶臼山地すべり地は長野市中心部から西南方約 10km の長野市篠ノ井区にあり、犀川と善光寺平（この中を千曲川が流れている）の間に挟まれた、山塊の一部がすべっている（図 1-1）。JR 篠ノ井線篠ノ井駅付近から西を望むと、南からなだらかに続いた山稜がやや高度を高めてから、急に三角形の断崖をなして落ち込んでおり、そこから樹木と整備された草地のまざる斜面が細長く山麓に向かって続いているのがわかる。これが茶臼山地すべりである。地すべり地の北には標高 730m の茶臼山北峰があるが、昔はこの南に並んで標高 720m（推定）の南峰があった。南峰の山体は現在、地すべりにより崩れ落ち、見ることはできない。

この地すべりは延長約 2,000m で、上部 800m 間は東南へ向かっているが、下部は向きを東に変え約 1,200m 延びて、山麓の篠ノ井地区岡田集落の上方にせまっている（図 1-2）。

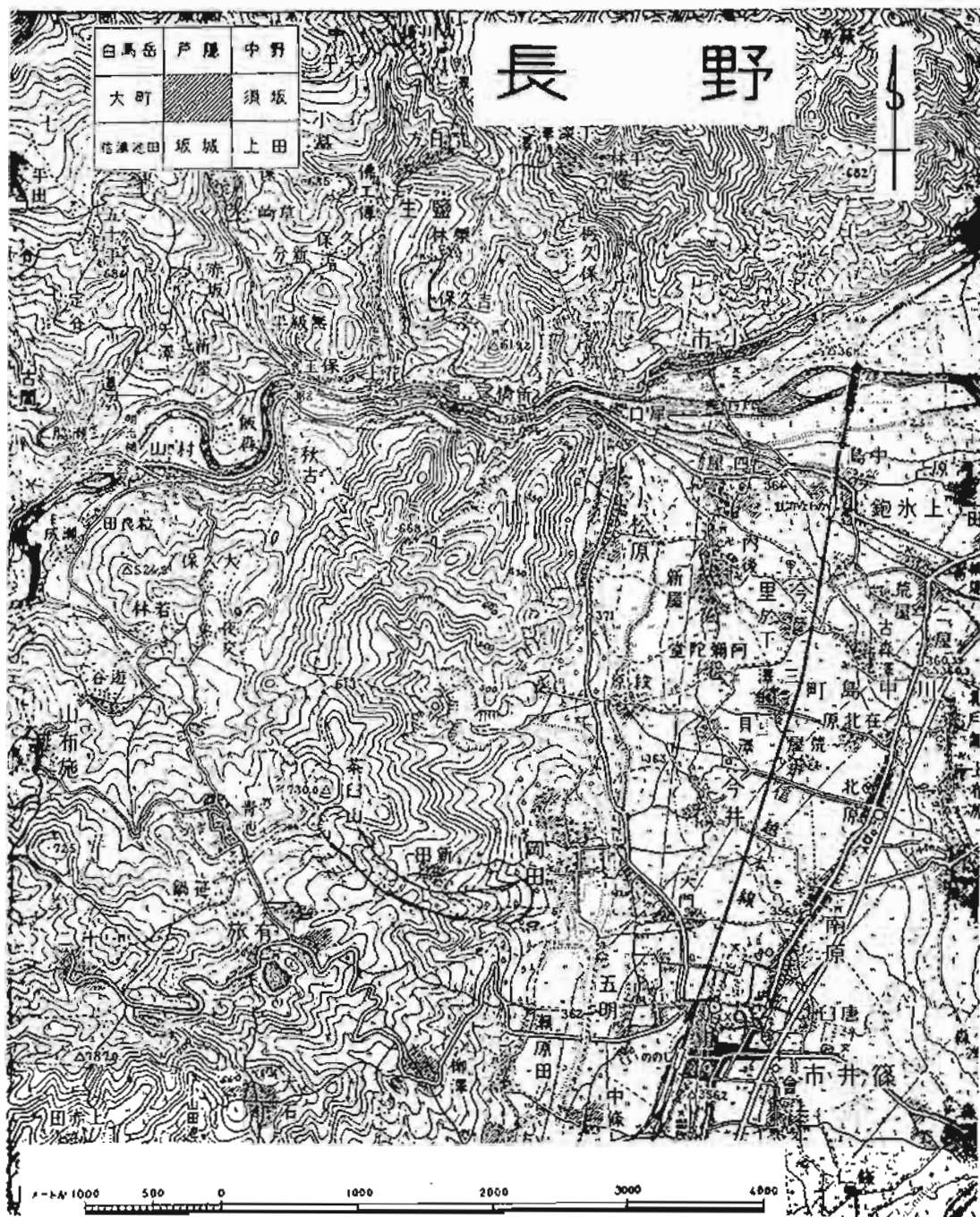


図1-1 茶臼山地すべり位置図

地すべりは旧茶臼山南峯の東斜面に発生し、はじめは東および東南の二方向にすべっていたが、その後は地質構造に支配されて東南へのすべりが主となり、さらにかつてあった滝沢川の流路沿いに東へすべり下ったものである。この上部 800m を地すべり発生地帯とよび、下部 1,200m を二次的地すべり地帯とよんでいる。活動地の幅は 130~430m に及び、その面積は約 46ha、滑動層の深さは平均 20m、末端部で平均 15m と見られ、移動層の土量はおおよそ 9,000,000m<sup>3</sup> と推定される。

地すべり発生地帯の西南側は現在高さ 5~30m の断崖になって、上流ほど落差が大きく、これが地すべり界をなしている。また、最上部の地すべり地内には三角形の山（三角山）があり、その東側もまた断崖になっている。この三角形の山は両側の土塊が地すべりですべり落ちた後に残されたもので、この山頂の東南に、かつての茶臼山南峯があった。

地すべり発生地帯の北東側には現在、灰白色泥岩・茶褐色泥岩・亜炭の薄層が N45° W、20° ~25° SW の走向傾斜でその地層面を現わしている。泥岩の層理面は地すべり発生当初の地すべり面となっていたもので、昔はこの上に地すべり土塊が乗っていたが、上位の土塊が落ちたため逐次地表に姿をあらわしてきたものである。茶臼山北峯の南斜面では上記の泥岩層がさらにえぐられて、地すべりが拡大している。

地すべり発生地帯の上流部および中流部（図 1-2 の B-B から上流）における土塊は、滑動の激しかった時もあまり攪乱されず樹木をのせたまま、大きなマスの状態ですべっていたのに対し、下流部ではこれに横断方向の地割れが多数生じ次第に攪乱されていた。上部（三角山の南、図 1-2 の 1号集水井筒付近）には上沼とよぶ約 300m<sup>2</sup> 程の沼があり、以前は常時水をたたえていた。現在は排水工事によって排水され、水はない。上沼の下方約 250m 間は地表に池・沼・湿地帯はないのに対し、250m 下った西南側には二沼とよぶ沼があって地すべり土塊の動きとともに下方へ移動していた。二沼から下方には長沼・中沼・永久沼等の沼とその間の湿地帯があった。これらの池沼は土塊の動きと無関係にほぼ一定の位置に形成され、地すべり土塊は沼に入ってはまた出ていくという状態を繰り返していた。現在は地すべり対策工事による地下水排除が功を奏し、これらの沼はほとんどなくなっている。

A-A の下方から B-B にかけての西南側、延長約 300m の間では図 1-2 にみられるように従来の地すべり界（図 1-2 の点線の位置にあった）から 10~40m 南西に入った位置に新たな亀裂が生じ、その北東側が次第に沈下した。この動きは 1960 年（昭和 35 年）頃から認められてきたものであるが、土塊の横方向への移動は小さく、沈下を主体にしている。この部分を新規亀裂地帯とよんでおり、この部分の上方延長部は A-A の下方で地すべり地内まで連続し、その付近も溝状に沈下現象をおこした。

B-B の下流の地すべり界は南へ張り出しており、この張り出し部分の地すべり土塊は地下から押し上げられる状態を示していた。樹木をのせたまま B-B を通過してきた土塊はこの部分へ入らず、両者の間は細長い溝状になっていて、両側で滑動機構が異なることを示している。

図 1-2 の C-C から下流で地すべりは向きを東に変え、二次的地すべり地帯に入る。この二次的地すべり地帯の上方部 300m 間は勾配が約 13° の急坂となっており、滑動の激しかった時は地すべり土塊が一気に攪乱され、泥ねい化し、樹木も枯れて茶褐色の泥土の流れとなっていた。このため、この付近を攪乱帯とよんでいた。この急坂部の中間に長 60m、幅 20m の細長い不動島がある。ここは昔、滝沢川とその支流が両側を流れていた所で、地すべり発生地帯の土塊が滝沢川沿いにすべり下った時から不動地として残されたものである。

凡 例	
---	移動機組用線
○	電水井
●	深井戸工
=====	湧水トンネル
.....	杭打工
—	図1-3位置

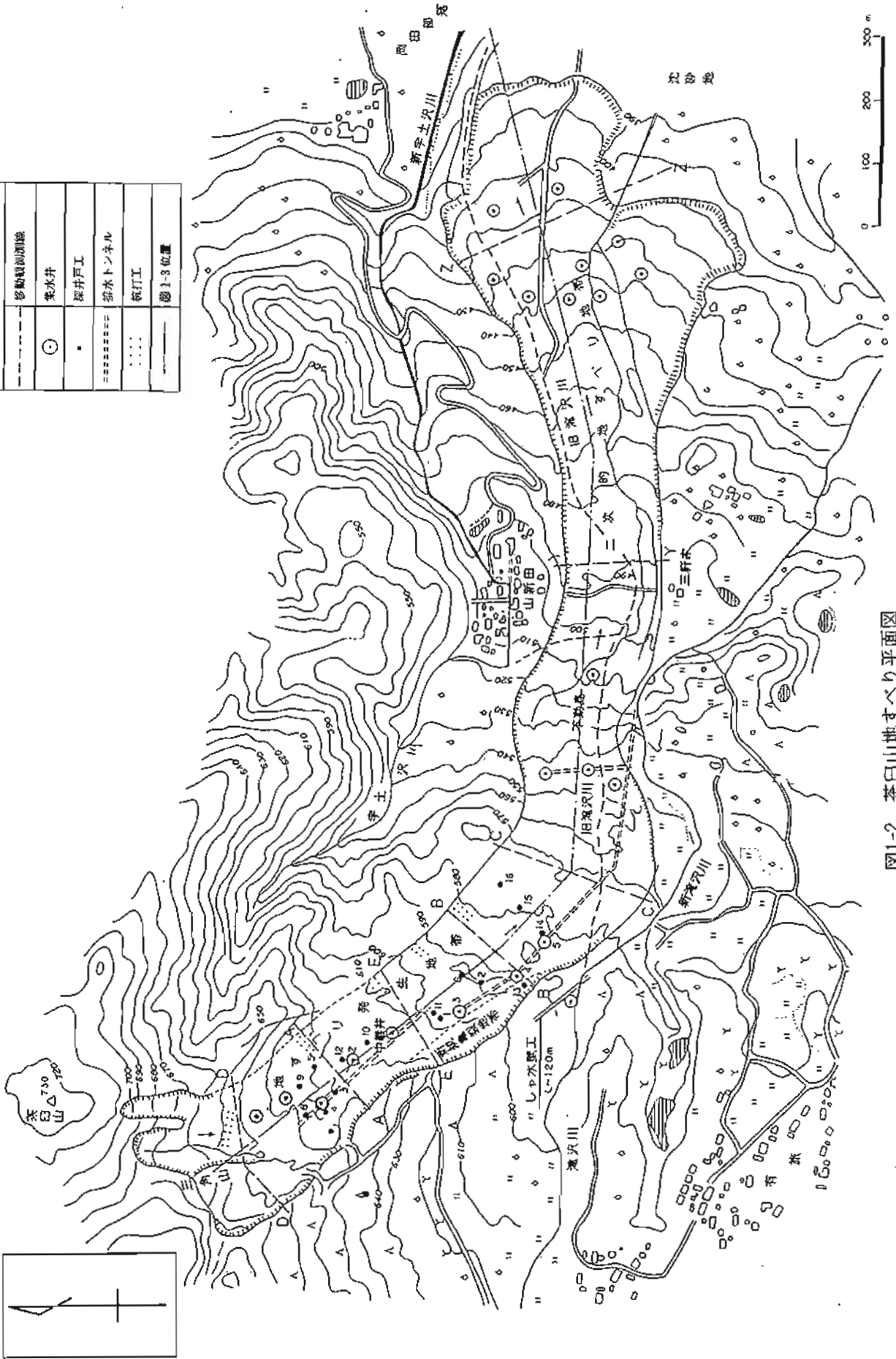


図1-2 茶臼山地すべり平面図

地すべりが安定化した現在では周囲の地すべり土塊の中に成育した樹木も大きくなり、不動島内の樹木と区別ができず、外見では不動島がわからなくなっている。

山新田部落の南方から勾配はゆるやかになり、土塊は再び安定した状態となっている。そして、末端部の岡田部落上方で扇状に拡って下方のリング畑におおいかぶさる状態となっている。

地すべり地のほぼ中央を通した縦断面図を示すと、図 1-3 のとおりである。攪乱帯をのぞいては上下ともきわめて緩傾斜であることがわかる。

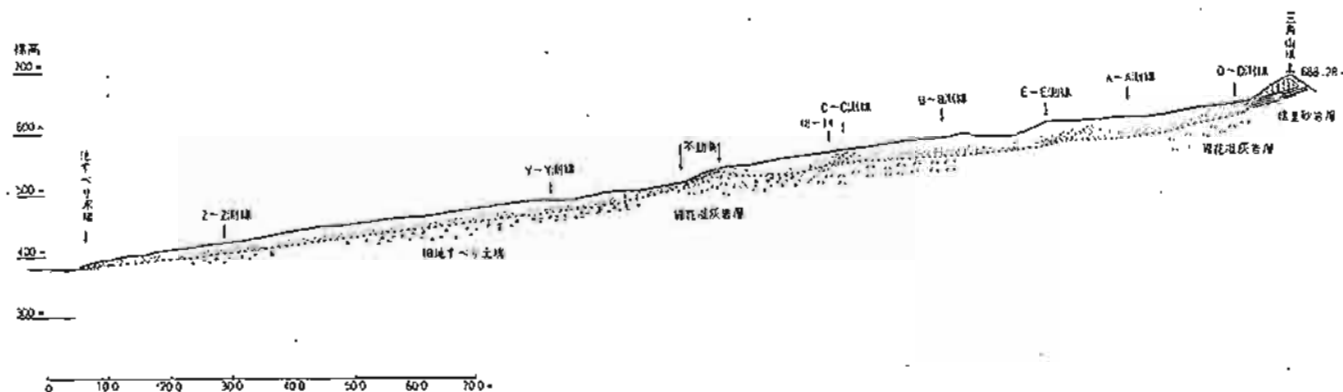


図1-3 茶臼山地すべり縦断面図

凡例

—	移動地帯の境界
○ 42-1	調査ボーリング孔
◎ / 号	深井戸工
◎ / 号	排水井筒工
◎	母木トンネル工
◎	集水井ライナー工

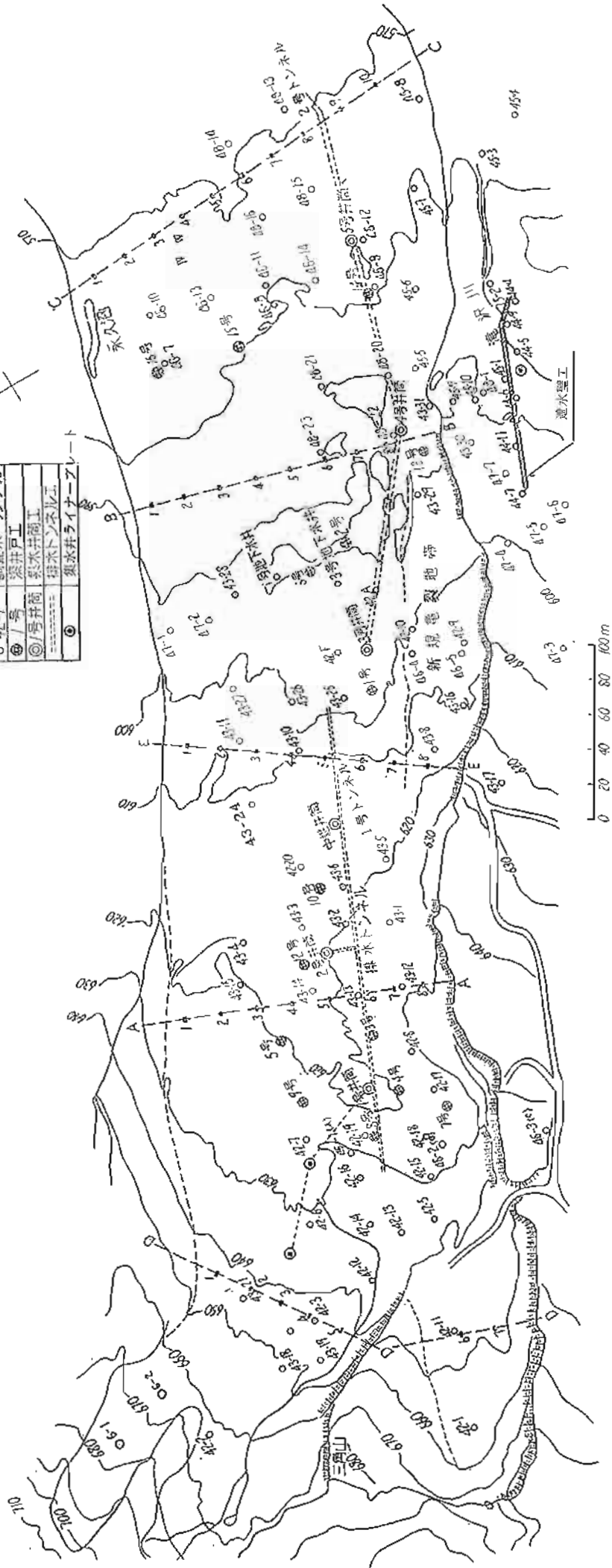


図1-4 地すべり発生地帯平面図

## 2. 地形・地質の概要

善光寺平と松本盆地間の犀川沿川山地はすべて新第三紀中新世以後の堆積岩類・火砕岩類および第四紀の火山岩類や堆積物からなっている。そして、山地は更新世前期末（約 70 万年前）に海面近くの高度で平坦化作用を受け、大峯面と言われる平坦面を作ったと見られている。その後全体的な地盤の隆起にともない、上位平坦面のまわりにそれを削った下位の平坦面や、犀川やその支川により形成された河成段丘面が形成されてきた。また、それらを侵食する多くの溪流が発達し、全体的には早壯年期地形がつけられた。この結果、平坦面残存地に代表される緩傾斜地と溪流の谷壁に代表される急傾斜地が混在するようになり、地形はかなり複雑な様相をおびるようになった。

このような状況は茶臼山地すべり地周辺にも認めることができる。茶臼山南方の青池～十二付近、有旅付近、西方の山布施～宮平付近、若林～夜交～秋吉付近等に平坦面が見られる一方、茶臼山北方には急傾斜の溪谷が発達している。

さらに、茶臼山周辺では平坦面を崩す地すべりの発生と、崩積土の堆積地が認められる。特に茶臼山東南方の善光寺平にのぞむ斜面には、有旅・犬石方面から谷を埋めるようにして押し出した崩積土のつくると異なる地形が認められる。茶臼山の北方では地質が侵蝕され易い凝灰岩のためV字状のけわしい溪谷が発達し、また禿山が各地にできていて南方とは対照的な景観を呈している。

茶臼山南峰をとりまく溪流には、西に流れて犀川に入る山布施沢と東へ流れて千曲川に入る滝沢川・宇土沢川がある。このうち、地すべりと直接関係のあるのは滝沢川と宇土沢川である。地すべり発生前の状況を見ると宇土沢川は南峰と北峰の間の鞍部から発し、山新田部落の上まではV字形の溪谷をなしていたが、ここで急角度に南へ曲がり、山新田の南方で滝沢川に合流していた。滝沢川は南方の有旅方面から発し、茶臼山南峰の南側山腹の水を集め、C-C上部から地すべり地内に入り、不動島の南を通過して山新田の南方に達していた。また現在の地すべり地内で旧南峰の南東約 200m の山腹には湿地があり、灌漑用の池が作られていた。ここから階段状に下方へ細長く水田（約 8 反歩）ができていた。この水田は永久沼の南方を経て不動島の北まで延びており、その中を小さな溪流が流れていた。これも山新田の南方で宇土沢と同じく滝沢川に合流し、現在の地すべり地内の北側を流下し、岡田部落の西方で南に曲り沈砂地付近を通過して岡田川に流入していた（図 4-38）。

茶臼山南峰の頂上には小峯神社という社があり、その庭には小さな泉が二ヶ所あったという。南峰の西側の山腹は現在も地すべり地の西に見られるような急斜面をなしていたが、これは山布施沢上流にあった旧地すべりの上部滑落崖の一部と見られている。南側山腹は滝沢川に向かってなだらかに傾斜しており、南東側は前述の小溪流に沿って棚状水田と畑が緩やかな斜面を作っていた。しかし、東と北東はやや急傾斜となり宇土沢川に向かっていった。地すべり地内のA-A付近から上は山林となっており、下は耕地と山林が交錯していたが、B～B付近から下流は大部分が耕地になっていた。

茶臼山地すべり付近の地質はすべて新第三紀層と第四紀はじめに噴出した火砕岩類からなっている。これらは下位から裾花凝灰岩層・信里砂岩層・新期凝灰角礫岩層と呼ばれ、さらに東側の山麓にはこれらの上に旧地すべり堆積物がのっている。

その分布の概要は図 2-1 のとおりである。





#### a) 裾花凝灰岩層

茶臼山北峰と旧南峯の間の鞍部から現在の地すべり地北東側を通りC-Cの北側にいたる線から北東側及びC-Cから南にのび、犬石方面にいたる線の東側では裾花凝灰岩層が分布している。裾花凝灰岩は海底噴出の堆積物で灰白色の酸性凝灰岩と流紋岩からなり黒雲母・石英・浮石および一部に角閃石を含んでいる。岩質は比較的堅硬なものや軟質なものが入り混じっており、機械的風化を受けやすく、また浸触されやすい。宇土沢川上流や岡田川上流はこの地層からなり、V字谷と禿山が発達している。

また、この凝灰岩は所により後火山作用によりベントナイト化しており、昔はベントナイトの採取が盛んに行われた。しかし凝灰岩層自体はすべり難く、地すべりは主として凝灰岩と上位の堆積岩との境界付近でおこっている。茶臼山地すべりもその一例である。

#### b) 信里砂岩層（中新統小川層中の論地泥岩部層の一部）

裾花凝灰岩分布域の南西側には、固結度が低く石英を多量に含む粗粒～中粒の砂岩を主体にし、これに凝灰岩・泥岩・亜炭層を挟む地層が分布している。これを信里砂岩層とよんでいる。この地層の下部は灰白色凝灰質泥岩、凝灰質砂岩を主体にし最下部には特徴的な濃茶褐色の泥岩と灰白色のベントナイト質泥岩があり、これが地すべり発生地帯における主な地すべり面を形成している。下位の裾花凝灰岩層との関係は整合で、漸移的に移過している。地すべり地上部ではN45°W、20°～25°SWの走向傾斜を持ち単斜構造で南西に逐次上位層を重ねている。

茶臼山山塊南西にあたる犀川沿岸の地質構造からみると地すべり地北方には南西から北東にのびる背斜軸が通っており信里砂岩層の構造はその両翼になる。

#### c) 新期凝灰角礫岩（聖山安山岩層）

茶臼山南東の有旅部落付近から南には熔岩類と火山砕屑岩層が前記の第三紀層を不整合に覆っている。熔岩類は主として複輝石安山岩類で火山砕屑岩層では泥と火山砂の混合物中に安山岩質の大小の礫を含んでいる。この地層の分布は南方の聖山方面へ続き、第四紀初頭の噴出物である。この火山砕屑岩の一部が粘土と混って山新田部落や瀬原田、柳沢方面にみられることから、昔は有旅・犬石方面に現在より広く分布していたが、その後の地すべりにより崩壊・滑動して山麓に達したものとみられる。

#### d) 旧地すべり堆積物

前述のように茶臼山地すべり地付近から南方の山麓には安山岩質凝灰角礫岩の転石と粘土が入り混った旧地すべり堆積物が広く分布している。

これらは安山岩の転石を多量に含むものと比較的少ないものがあり、山麓に押し出し地形をつくって堆積しており、現在はリング畑として利用されている。この大部分は安定化して再活動の兆を見せないが瀬原田部落の南西方や瀬原田・岡田間の一部では、なお時々活動することがある。

地すべり地周辺に大きな断層や破碎帯があるかどうかは、地すべり発生の機構と関連して重要な問題であるが、地表踏査では大規模な断層は確認されていない。地すべり発生地帯右岸側の崖には最上部に小さな西落ち断層がみられ、またボーリング調査からも上沼上方に南北方向の断層が推定されているが規模は小さい。

なお、善光寺平の西縁には山地との境界に沿って、活断層帯があり、山地側が隆起してきたことがわかっているが、活断層帯の通る位置は茶臼山地すべり地の脚部（二次的地すべり地帯末端）と考えられる。

### 3. 地すべりの沿革

#### 3-1. 沿革の概要

この地すべりは 1884 年（明治 17 年）に南峯の頂上付近に亀裂が入ったことから始まっているが、その誘因はさらにさかのぼった 1847 年（弘化 4 年）発生の信濃越後地震（通称善光寺地震、マグニチュード 7.4）ではないかとみられている。善光寺地震の際は長野市西方の山地におびただしい崩壊が発生し、この地方の山地荒廃の一つの原因がつけられている。茶臼山南峯付近でも周辺にあった湧水に変化が見られ、また山新田部落内に亀裂が生じる等の変異が認められている。

この地震以前の茶臼山は比較的安定な状態の山で、戦国時代、甲越両軍が川中島で戦った時は、武田方の本陣が一時おかれた所とも伝えられている。この地すべりはそのような状態の山に新たに生じてきた岩盤地すべりであると言え、諸文献や古老の記憶から歴史をまとめてみると次のような 5 時期にわかれた発達経過を見ることができる。

第 1 期 …… 1847～1883 年（弘化 4 年～明治 16 年）準備期

第 2 期 …… 1884～1929 年（明治 17 年～昭和 4 年）地すべり発生地帯で変動がある。

第 3 期 …… 1930～1943 年（昭和 5 年～昭和 18 年）第 1 回目の下流への押し出しがある。

第 4 期 …… 1944～1964 年（昭和 19 年～昭和 39 年）第 2 回目の下流への押し出しがある。

第 5 期 …… 1965（昭和 40 年）～現在 はじめ滑動がやや活発化したが、その後急激に安定化し、現在に至っている。

第 1 期； 茶臼山南峯周辺にあった湧水に異状がみられたが明瞭な地盤変動は出ていない。善光寺地震の際は山新田部落のすぐ北側の山腹にあった湧水が一時止まり、かわって滝沢川の河床で新たな湧き水が見られ、部落内では NW-S E 方向の大きな亀裂ができた。この亀裂は人家の床下に明治年間まで残っていた。茶臼山山体の異常もこの地震を契機にして始まっていると考えられる。

第 2 期； 1884 年（明治 17 年）、茶臼山南峯の頂上に N-S 方向の亀裂が発生し、その後亀裂の北東側山腹が次第に沈下した。この頃南峯の頂上付近から異様な音響が時々聞かれたと言われる。1898 年（明治 31 年）には頂上から約 800m 南東に下った不動島上方の畑が隆起していることが確認され、地すべりの規模がほほ明らかになってきた。上部亀裂の拡大とともに山腹各所に亀裂が生じ、山腹土塊の攪乱が続いたが、1911 年（明治 44 年）頃から横への滑動が目立ってきたと言われる。

第 3 期； 地すべり発生地帯の滝沢川沿いおよび宇土沢川支流沿いに土塊が滑動を始めた。この動きは 1930 年（昭和 5 年）梅雨期の長雨を契機にして急速に速度を増したと言われる。

滝沢川沿いでは不動島両側の谷部に沿って土塊がすべり下ったが、この時上部からの土塊の圧力で付近の土塊も共に動かされた。また、当時滝沢川と宇土沢川の流水が地すべり地内へ入っていたため末端部はやや泥流状になり、その移動速度は以下に示すように大きなものであった。

1932 年（昭和 7 年）8 月～1935 年（昭和 10 年）3 月 平均 93m/year (25.4cm/day)

1935 年（昭和 10 年）3 月～1937 年（昭和 12 年）11 月 平均 60m/year (16.4cm/day)

末端部の移動速度が大きかったのに対し、地すべり発生地帯ではそれほど小さくなく、B～B の上方では土塊は大きなブロックの一体として滑動し、樹木が整然と立ったまま動いていた。この状態は次の第 4 期にも引きつがれ、福岡正己氏によってエスカレーター帯と呼ばれた。

この時期、上部の主滑落崖は図 3-1 の A から B の間にあったが、三角山南方の土塊（A から B の西側）がずり落ちて滑落崖が後退する傾向がみられていた。

なお、1932～1934 年（昭和 7 年～9 年）当時の移動観測資料では宇土沢川の支流方向への速度が滝沢川方向への速度よりも大きい時期がある。しかし、この活動はその後急激に安定化した。これは上部にかぶさっていた土塊が滝沢川方向に引き落とされ、逐次減少してきたためと考えられる。第 3 期末（1940～1943 年 [昭和 15～18 年] 頃）には一時移動が緩慢になった。不動島両側で行った移動杭

による観測でも1ヶ月約10cmの速度に落ちており、山新田部落の南では地すべり地内が耕地化された。

第4期； 1944年（昭和19年）頃から移動が再び活発になり、現在見られる地すべりの形がほぼ形成された。この時期のはじめには宇上沢川への滑落が若干認められたが、1947年（昭和22年）頃からほとんどなくなり、滝沢川沿いの流下が主体になった。上部では図3-1のAからB線の西方（現在みられる三角山東縁）にあったとみられる長約150m、幅20～30mの大きなブロック状岩塊（ラクダの背とよばれている）が上沼上方にずり下がって来て、ついでこれに従うようにして三角山南上方の土塊が次々と上沼上方に滑落してきた。これが上部崩落帯とよばれたものである。

三角山付近からの土塊の滑落が著しくなったことが、この時期の土塊移動速度を大きくした一つの原因と推定される。ここで注目されるのは図3-1のB付近から下方の地すべり界があまり変化しなかったことで、エスカレーターに乗ったように特定区域の土塊だけが滑動をつづけた。しかし、1960年（昭和35年）頃からA-A測線の右岸側で従来の地すべり界から10～40m西南に入った位置に新たに亀裂が生じ、その東側の土塊が逐次沈下を始めた（新規亀裂地帯）。

二次的地すべり地帯の下方では、従来滝沢川の流路沿いに舌状に土塊が流下していたが、1949年（昭和24年）頃からは新たに南方にもあふれるように押し出し、全体として扇状に広がるようになった。扇状の広がり方は南方へ向かうものと東方へ向かうものがあったが、1960年（昭和35年）頃から南方への移動はほとんどなくなり、図1-2のZ-Z測線から東方へ滑動するものが主体になった。全体の移動速度も1960年（昭和35年）頃まではかなり激しかったが、その後漸減し、自然安定の状態になるかと思われた。

第5期； 1964年（昭和39年）までは消長をくり返しながらも全体としてはスピードが落ちていたところ、1965年（昭和40年）から再び速度が増加してきた。たまたま1965年（昭和40年）8月3日から松代群発地震が始まったため、その影響によるのではないかとも見られて問題になった。しかし、この動きも1966年（昭和41年）が最大でその後は急減して今日にいたっている。この時期は後述するように地すべり発生地帯において強力に排水工事が施工された時でその効果があらわれたことも否定できない。

地すべり発生地帯上部では三角山西南方の土塊が1964年（昭和39年）頃までにほとんど抜けきった状態となり、三角山西南山腹にはベントナイト質泥岩からなる地すべり面が露出し、上に乗っている土塊が滑落するに従って、その露出面が次第に拡大してきた。右岸側の滑落崖はほとんど後退しなくなり、ここだけ注目した場合もはや安定化した形になった。しかし、三角山の東側は1960年（昭和35年）頃から幅約30mの岩塊がブロック状になり徐々に沈下をはじめ、同時に北峯南山腹にも新たに亀裂が入り幅70mにわたって滑動を開始した。この滑動はやがて三角山東縁の岩塊を根こそぎもぎとることになった。この北方からのあらたな土塊が上沼北方におしつける形になってきた1965年（昭和40年）、移動スピードの復活があらわれている。この動きも1973年（昭和48年）にはほぼおさまり、移動量も極めて小さくなった。しかし、斜面の所々で新たな亀裂が発生することが時折あった。

1978年（昭和53年）に不動島周辺で亀裂の発生が確認された。この亀裂は翌1979年（昭和54年）までにわたり拡大していた。しかし、1979年以降は拡大する傾向はみられなかった。さらに、1989年（平成元年）には現在の恐竜公園の南側に、1990年（平成2年）には不動島の下方にクラックが発生された。また、1992年（平成4年）には安定化していた地すべり発生地帯の中央部付近で水路の変形が認められた。

これらの変状はいずれも局所的であり、地すべり全域の再活動につながるものではなかった。このような変動も1994年（平成6年）以降みられなくなり、地すべりは安定している。

このような地すべり地の発達、変化を現在の地形のみから復元することは不可能である。このことは変動を起こした後の地形観察から、変動をおこす前の地形を復元したり、変動の経過を復元することは極めて困難であることを示している。

さらに茶臼山の場合、地すべり発生地帯の西南側の崖（側方崖）がなぜここに形成されたのか問題になる。ここには断層のような地層の不連続線は認められず、谷地形も形成されていなかった。つまり同質で一連の岩盤がここで切断されたものであり、このような現象がなぜ出現したのか、今後の研究課題として残されている。

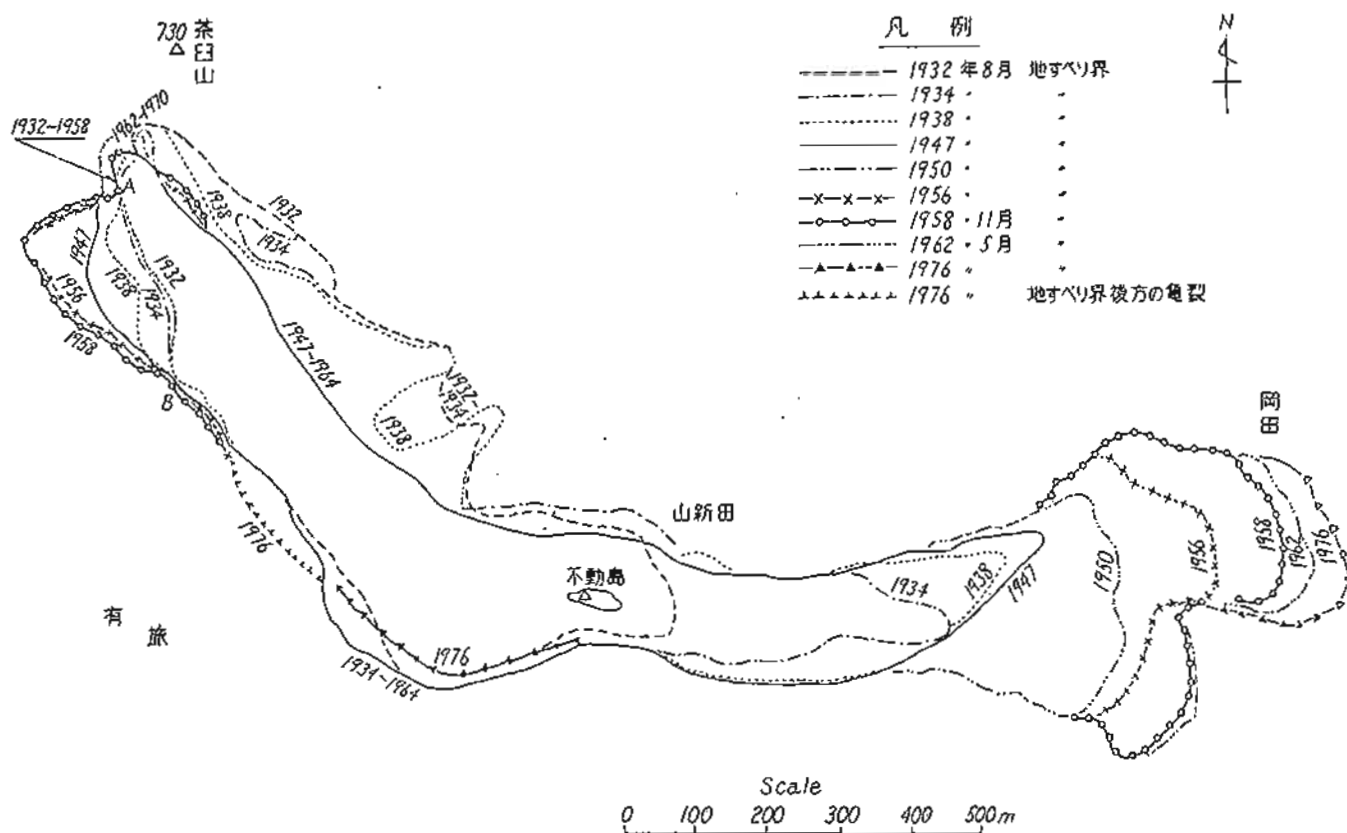


図3-1 茶臼山地すべり変せん図

### 3-2. 地すべり発達の各時期における地盤変動特性

この地すべりは前述した5つの発達時期を経過しながら変化してきており、地盤変動の状況も各時期により相異している。ここでは各時期の変動特性を記述する。

#### (1) 第2期の変動

この時期は約45年の長期におよぶが、人家から離れた山林や耕地に変動が出ていたため、その詳細な状況は明らかではない。ただ、この時期が終わって次の第3期に入った1932年(昭和7年)に作成された平面図(図3-2)があるため、これを検討することにより、その変動特性を知ることができる。

この時期の変動は非常に緩慢であったが、その区域は地すべり発生地帯全域におよんでいる。

最上部の滑落崖は茶臼山南峰頂上部に形成されており、現在の三角山東方にある崖の約30m東にあたる。

下部の隆起は現在の不動島上方と記録されているが、1932年(昭和7年)当時にも継続して認められ、地すべり発生地帯下端部にあたる。

地塊の移動方向については平面図に示されており、また当時の写真を検討することによっても判断できる。すなわち、東方の宇土沢川へ向かう滑動と、東南方向へ向かう滑動の2つがあったことがわかる。前者は地形に順応したものであるが、後者は地質構造に支配されたものである。そして、後者が主地塊の滑動であったことが、その後次第に明瞭になる。

図3-2を見ると地すべり地内の標高580~640m間は、地すべり地外となる南西側よりも高くなっている。このような状態は地すべり発生前には見られなかったもので、これは第2期の滑動により、この地帯が盛り上がりしてきたためである。

標高650m付近から上方部は地すべり地内が相対的に沈下し、その南西側に著しい滑落崖が形成されている。これは主地塊が滑動した後に残された陥没地と言える。

宇土沢川へのそむ東側斜面では、かなり崩壊性の滑動がみられる。これは後の攪乱帯の状況に似ている。しかし、この活動はその後継続せず、上部の地塊が東南へ滑動し去るに従って、安定化してしまう。

図3-2では地すべりの方向転換部に、標高580mの2つのもり上がり部が示されている。そしてその下方に圧縮亀裂とみられるものが記されている。これは不動島周辺にあった地塊が西方からの滑動地塊に抵抗している状況を示しているものである。そして、この抵抗状態が破れて不動島周辺の在来地塊を先頭にして、滝沢川に沿って、上方部の不安定地塊が押し出した時、第3期に入ったと言ってよい。図3-2は第3期の早い時期の状況を示しているものである。

なお、図3-2には蛇竈水路工が示されているが、これは昭和初期の農村不況を救済するために、1932・1933年(昭和7・8年)に実施された救農土木事業で施工されたものである。しかし、この施設は第3期の地すべり活動により破壊され、その効用を発揮することができなかった(写真-19~24)。

#### (2) 第3期の変動

不動島周辺地塊の抵抗のバランスが崩れ、上方部からの土塊が、旧崩積土を再滑動させながら滝沢川沿いに押し出したのが第3期の変動の実態である。滑動地塊の先端部には安山岩転石が多量に混入しており、また滝沢川沿いにあった既設堰堤も根こそぎもち上げられるようにして滑動している(写真-32~34)。

地すべり先端部における移動速度は1932年(昭和7年)8月~1935年(昭和10年)3月の間が平均93m/year、1935年(昭和10年)3月~1937年(昭和12年)11月の間が平均60m/yearと記録されている。

この速度は崩壊状、または土石流状に活動する地すべりの移動速度に比較するとはるかに小さいが、一般の徐動性地すべりよりも非常に大きな値となっている。長野県下において、このような大速度で4~5年の長期にわたって活動した地すべりは他に見られない。

地すべり発生地帯では第2期に形成された地すべり地塊が全体的に滑動し、高度を低くしている。図3-2にみられる標高580~640mの凸出部も、この活動の結果なくなり、地すべり地内の高度は平均化されている。図3-3はこの活動の結果、形成された地すべり地内の土塊状況を示している。周辺滑落崖の状況は図3-2と比較して大きく変化していない。ただし、後にできる三角山の西南側では滑落崖の後退がみられ、亀裂が多数発達しているのが注目される。地すべり地上方部(滑落崖の下方部)では、地表面が約20m低下しており、

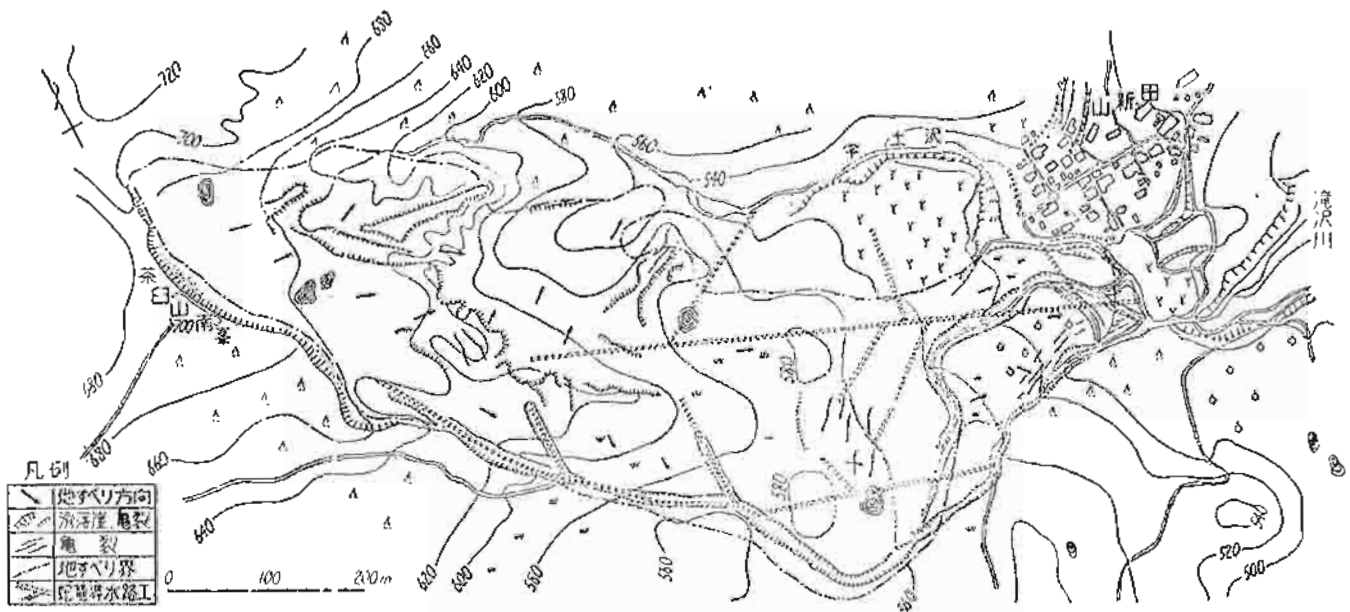


図3-2 茶臼山地すべり平面図 (昭和7年8月実測)

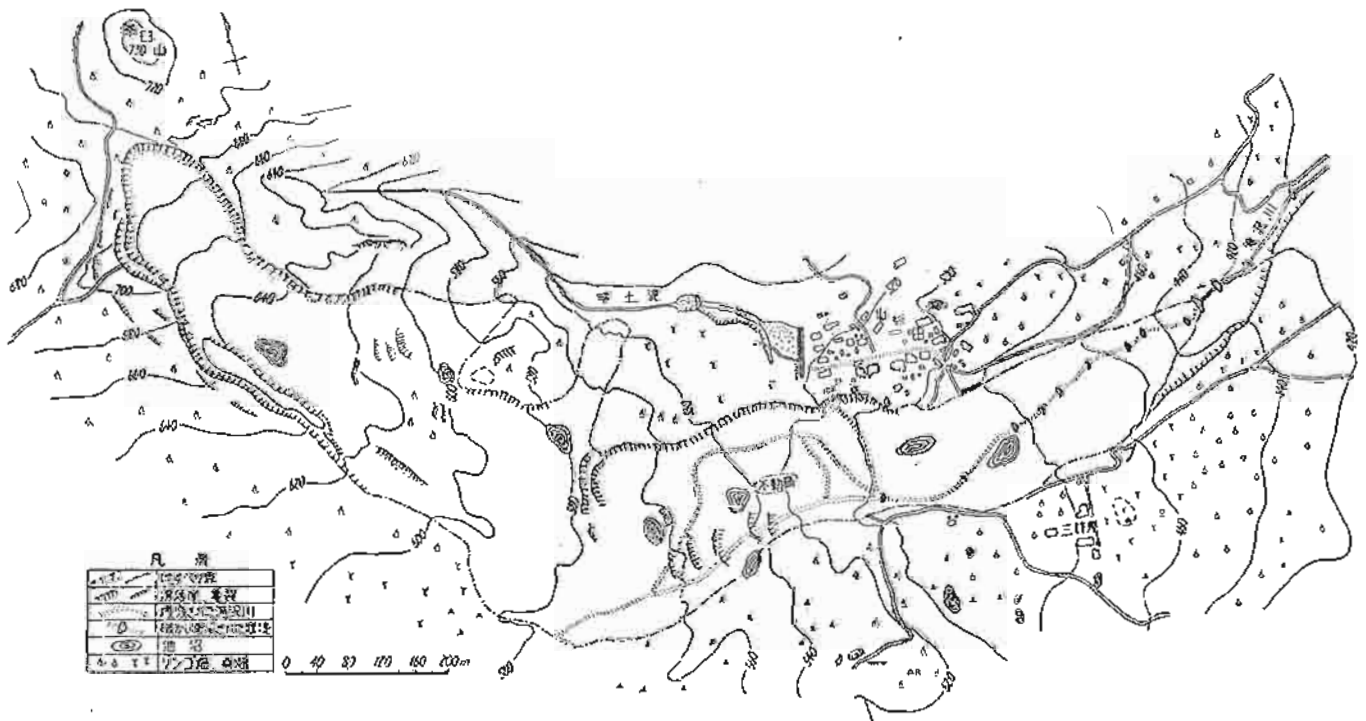


図3-3 茶臼山地すべり平面図 (昭和13年実測)

陥没地がさらに広がっている。このような活動が一段落した所で、滝沢川沿いでの移動速度は低下し、1942年（昭和17年）～1943年（昭和18年）頃には小康状態になっている。

### (3) 第4期の変動

1942年（昭和17年）頃から小康状態になっていた地すべりが、1944年（昭和19年）春からまた活発化し、1960年（昭和35年）頃まで著しい滑動をおこしている。この変動がひきおこされた原因は、1947年（昭和22年）、1956年（昭和31年）、1965年（昭和40年）の空中写真を比較することによって推定される（写真-9・10・12）。

1947年（昭和22年）撮影の空中写真で注目されるのは地すべり地の最上部の状況である。ここでは三角山の東方で「ラクダの背」（福岡命名）とよばれた長さ150m、幅20～30mの大きな岩塊が滑落崖を離れて滑動を始めている。この岩塊に続いて、三角山西南方の地塊が地すべり地上方部に供給されるようになる。

写真-9で見ると、後に三角山西南側の大きな滑落崖になった位置に、明らかに大きな亀裂がみられ、これより東北側の地塊が全面的に攪乱されている。この乱された地塊が前期までの主地塊の上に押しかぶさる形で崩落し（福岡により崩落帯と命名される）、これとともに全体の活動が活発化する。上部における土塊の移動状況は「ラクダの背」の位置変化から読み取ることができる。

写真-10で見ると「ラクダの背」の上方に三角形状の土塊が続いているが、これは三角山西南側の土塊が原形をかなり残したまま滑動しているため、崩落帯を経て滑落してきたとは言え、大きな地塊のままの滑動であることがわかる。これは上方部における土塊の供給実態をよく示している。

三角山西南からの滑落は写真-9に見られる大亀裂（図3-4の3の亀裂）東北側の地塊が滑落し終わると一段落し、滑落崖はそれより西南側へは後退していない。そして、「ラクダの背」が下方に滑動するにしたがい、全体の土塊移動も次第に安定化してくる。

なお、二次的地すべり地帯では、滝沢川沿いに舌状にのびていた地塊が、1949年（昭和24年）から東南側へもあふれ出し、扇状に広がっている。

### (4) 第5期の変動

茶臼山地すべりでは、これまでにいろいろな形で移動観測が行われてきた。1958年（昭和33年）以後は図1-2に示す7測線で、継続して地表面土塊の移動観測が行われている。

その観測値をみると1960年（昭和35年）～1964年（昭和39年）には全体的に速度が落ち、安定化するかとみられた。ところが1965年（昭和40年）・1966年（昭和41年）にはまた動きが活発化してきた（図4-13）。このため、1965年（昭和40年）以降を第5期として分けたのである。たまたま1965年（昭和40年）8月から松代群発地震が始まり、その影響が出たのではないかと考えられ、問題となり、1966年（昭和41年）以後集中的に調査が行われると共に、地下水排除工事をはじめとする多くの大規模な工事が実施された。1967年（昭和42年）以後は再び安定化の傾向をとり戻し、特に1970年（昭和45年）以後は非常に安定化した状態になっている。しかし、二次的地すべり地帯や北峰の南斜面では局所的に変動が続き、不動島上方および周辺、地すべり地末端部（図3-5）、および三角山北東側の北峰南斜面で独自の変動が観測された。しかしこれらの動きも、周辺の地下水排除工事が施工されると共に安定化してきている。

松代群発地震の影響については移動観測の資料からみると、これを全面的に肯定できない所がある。

1962年（昭和37年）～1969年（昭和44年）に観測されたA-A測線における月間移動量の推移を見ると、移動量の増大は1964年（昭和39年）の後半から始まり、1965年（昭和40年）は年の初めからその傾向が続いている。松代群発地震が始まったのは1965年（昭和40年）8月からであり、特に活発化したのは1966年（昭和41年）4～10月である。したがって、この地すべり地における移動の活発化は松代群発地震の発生に先行していると言える。このことから、地震が移動活発化の主たる原因とは考えられない所がある。この問題については後にさらに考察する。

一方、地すべり地上部の状況を見ると、写真-11で明らかな三角山東側の地塊が写真-12ではなくなっていることからわかるように、三角山の東側において、長さ約60m、幅30mの地塊が1960年（昭和35年）頃から徐々に沈下を始めている。同時に茶臼山北峰の南山腹にも幅約70mにわたり、浅層部における地すべり

範囲の拡大がみられ、この両者が三角山東側の根をもぎとるようにして、緩慢な滑動を始めている。三角山東側の地塊が左岸側から押し形になってきた時、移動の復活があらわれ、この地塊がこの時期の活動の鍵となっている。移動の活発化がごく短期間で終了したのは、左岸側からの押し出しが上流からの土塊供給を継続して受けることなく一時的であったことと、地下水排除工事などにより地すべり発生地帯における全体的な地塊の安定化が促進されたことによるものと考えられる。

1970年(昭和45年)以後は地すべり地全域に安定化の傾向が顕著になったが、1979年(昭和54年)春から、地すべり発生地帯と二次地すべり地帯の境界にあたる、不動島周辺に亀裂が目立つようになった(図3-5)。1979年(昭和54年)5月にはC-C測線下に落差を伴う亀裂が発生し、地表面が段階状になっているのが確認された。また、展望台の直下には幅5mの陥没帯もみられた。また、二次地すべり地帯末端でも新しい滑落崖が確認された。さらに、1980年(昭和55年)3月になると、C-C測線や展望台下の亀裂は拡大・増大し、不動島内でも亀裂が確認された。二次的地すべり地帯の上部では両側方の水路に変状があらわれ出した。この局所的変動の激化も、不動島上方で集水井2基(55-1・55-2)を施工になる1981年(昭和56年)以降は沈静化した。

さらに、1989年(平成元年)になるとZ-Z測線の南西側にあたる、おとぎの広場下方斜面に亀裂が発生した。亀裂が発生した範囲は延長200m、幅100m程度であり、冠頭部の亀裂は落差が20~30cm程度であった。この地すべりはその後拡大することはない。

1990年(平成2年)には不動島南側の急斜面に亀裂が発生した。冠頭にあたる位置には落差30cm程度の亀裂が半円形~馬蹄形に連続していた。冠頭部に対応する末端部の変形は不明瞭であった。

1992年(平成4年)には地すべり発生地帯の上部にあたる三角山南側において、施工されていた水路の変形が確認されている。また、1994年(平成6年)には三角山の北側においても水路の変形が確認された。これらの変形発生部の周辺では、地表の亀裂などはあまりみられず、地すべりと直接関係したものでない可能性もある。

このように、近年は局所的な地盤変動はみられるが、以前のような地塊が大規模に滑動するような変状は発生していない。現象が発生した位置は地表面傾斜の比較的急な部分、地すべり末端の斜面などに限られている。また、地すべり面深度も比較的浅いものと推定される。

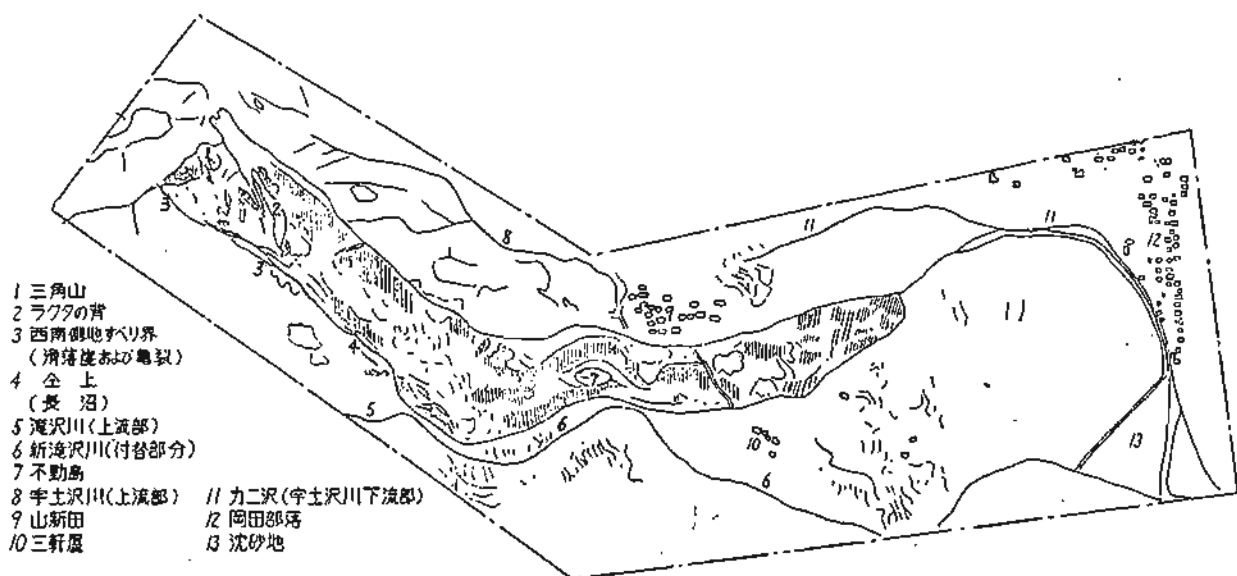


図3-4 1947年撮影航空写真説明図



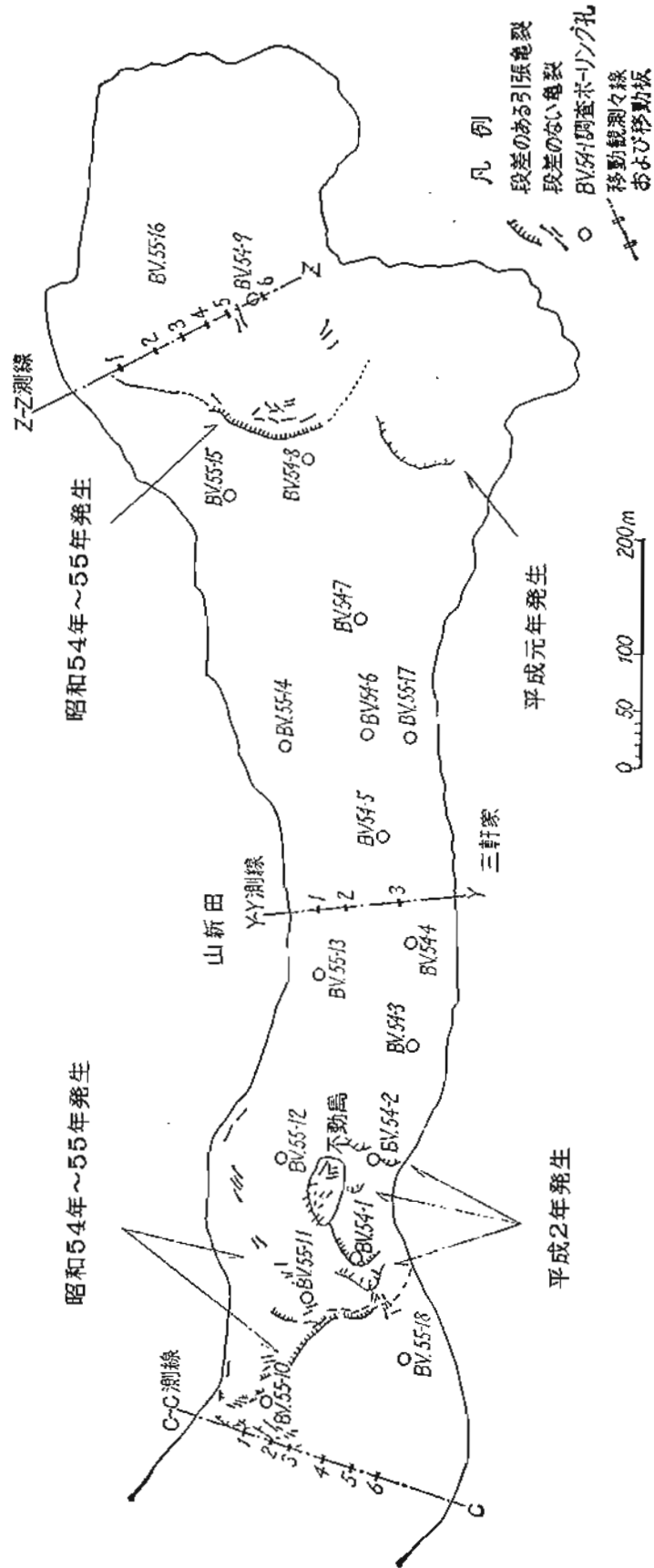


図3-5 二次的地すべり地帯に発生した亀裂 (昭和54～55年・平成元年・平成2年)

## 4. 地すべり機構調査

### 4-1. 調査の歴史

地すべりの活動は明治年間から始まったため、1900年（明治33年）砂防指定地に編入され、滝沢川下流に砂防ダムが築造されたのを初めとして、長野県土木部により多くの対策工事が行われてきた。対策工事の歴史については後述するが、ここではこれらと並行して行われてきた地すべり機構調査の経過を概観しておきたい。

1930年（昭和5年）以後、下流への地すべり滑動が活発化してからその対策が重大視され、まず1934～1935年（昭和9～10年）に長野県土木部により地すべり地内外の地表踏査が実施されると共に地すべり地周辺でボーリング調査が行われ、浅層部の地質・土質が調査された。

ついで、1938年（昭和13年）には東京大学地震研究所に委託して周辺の地表地質踏査を行うと共に弾性波探査による地下構造の推定、特に地すべり面深度の推定が行われた。地表踏査の結果は大塚弥之助氏により詳細に報告されており、周辺の地質分布はほぼ明らかにされた。また、弾性波探査の成果は萩原尊礼・俵俊一郎氏によって報告されており、地すべり面が10～20mにおよぶ深いものであることが推定された。

1945年（昭和20年）以後、地すべり活動が活発化してからはその機構調査が改めて問題となり、建設省土木研究所が主体となって1946～1952年（昭和21～27年）に本格的な調査が行われた。小野寺透・芥川真知氏は周辺山地の地形・地質踏査を行うとともに地すべり地内で電気探査を実施して、地すべり面の深度推定を行った。福岡正巳氏は地すべり地内外の土質調査を精細に実施し、またボーリングによる地下構造調査を行った。さらに地表水・地下水の分布・水量測定を実施するとともにこれらの排除工法が検討され、また下流部において流下土砂に備えた堰堤の構造に関する実験的研究が行われた。一方、土塊の移動状況の観測も組織的に行われ、ぜん動運動とよんだ特殊な滑動現象が見られることなどが明らかになった。これらの成果は、福岡正巳氏により1953年（昭和28年）詳細に総括され、報告されている。また、有泉昌・牧隆正氏は地すべり地周辺の地表水・地下水の水質分析を行い、極めて酸性が強く金属イオンを多含する特異な水の存在を明らかにした。この頃の調査は、非常に組織的に多方面にわたって実施されているが、地すべり活動が極めて活発であったため、地すべり地内における調査に多くの障害があり、地すべり面深度も明らかにされなかった。当時は、地すべりの調査方法も確立されておらず、調査器具等を開発しながら調査を行うという段階であったため、多くの苦勞が伴われた。

1954年（昭和29年）以後には長野県土木部により調査が進められ、特に1957年（昭和32年）以後7年間にわたり国庫委託費による調査が実施された。

ここでは、地すべり地内におけるボーリング調査に重点がおかれ、ボーリング孔の食い違い深度を調べて主要地すべり面深度を推定した。この結果、地すべり発生地帯における40mに達する深い地すべり面の存在が確認され、地すべり断面の形状もほぼ明らかになった。また、地すべり地内にA-A・B-B・C-C・Y-Y・Z-Zの5横断測線を設け（図1-2）、各測線に6～10枚の移動板を置いて、これを地すべり地外から測定して地表面の土塊移動を観測した。

地表水の化学分析も改めて実施され、さらにボーリングコア付着水の分析も行われた。この結果、地すべり地内には酸性の強い特異な水があるが、地すべり地周辺山地にはこれが見られず、水質の特異性は地下水が地すべり土塊、特に亜炭層や凝灰岩中の黄鉄鉱と作用して生じたものとわかった。また、地下水の貯留状況・連絡状況を推定するために、電気探査を地すべり地内と共に周辺山地にも実施した。この結果、地すべり発生地帯の中央部（上沼からB-B測線にかけて）の右岸側に地下水が多いことがわかり、1961年（昭和36年）から地すべり地内の深部地下水の排水工事が計画・実施されるに至った。これらの調査の成果は長野県砂防課によってまとめられており、また阿座上新吾・松林正義・滝沢和夫・望月巧一氏らによって発表されている。

1965年（昭和40年）、松代群発地震の発生と時を同じくして地すべり活動の活発化が見られたため、これに対処して改めて組織的・集中的な調査が計画・実施された。ここでは、戦後開発された地すべり調査技術

を網羅した形で、多方面から検討が加えられた。その調査項目・内容は表4-1のとおりである。

ここでも、ボーリングによる地下構造調査が重点的に実施され、地すべり土塊の状況・基盤岩の状況が再調査されるとともに保孔管に歪ゲージ形を貼って地すべり土塊内部の変動状況が検討された。

また弾性波探査・自然放射能探査・電気探査等の物理探査も地すべり地周辺山地も含めて実施された。弾性波探査では地すべり土塊の形態や、基盤岩内の構造に対する特に注目すべき資料は得られず、地質構造上で問題視されるような弱線帯のないことが確認された。自然放射能探査では高放射能区域が地すべり地内の5ヶ所に認められたが、横方向への連続性が不明瞭なため、基盤岩内の断層や破碎帯等と関連するものではなく、むしろ地下水の賦存区域と関連して生じたものではないかと考えられた。電気探査は地すべり発生地帯の地すべり地内に実施するとともに南西の地すべり地外の山腹でも実施して、地下構造の推定・地下水賦存地区の推定資料とした。測定結果の解析には

① 見かけ比抵抗値の分布状況からの検討。

②  $\rho-a$  曲線を標準曲線法を用いて解析し、その資料から垂直方向の地下構造を推定する。

という二つの方法が採られた。

また、地表土塊の変動状況調査は地すべり地内に移動板を置いて地すべり地外からトランシットで観測する方法を継続したが、移動量が減少するにつれ三角測量による測定では十分な精度が得られなくなったため、1971年（昭和46年）以後はトランシット設置点を地すべり地外に固定し、対岸の不動地に視準点を設け、この見通し線からどれだけずれているかをスティールテープで測定するという方法をとっている。なお、1972年（昭和47年）以後観測線としてD-D・E-Eを追加し7測線で実施している（図1-2）。

次に地下水関係の調査では水質試験を継続して実施し、地すべり対策工事（排水工事）の進行と共に水質がどのように変化するかを調査した。さらに地下水検層により、ボーリング孔内の流動層深度を検討し、また地すべり地内でトレーサーを使った地下水の追跡を試みた。また、対策工事で施工した深井戸（セミウエル）を利用して揚水試験を行い地下水の連続状況・帯水層の透水係数等を調査した。一方、ボーリング孔内の水位を継続的に測定し、移動速度との関係などを検討してきた。

土質関係の調査ではボーリングのコアを試料として後述するような物理試験を実施すると共に、粘土のX線回析を行って、土質面からみた特性を検討した。

以上の調査から得られた成果は、1971～1972年（昭和46～47年）に長野県により調査資料集としてまとめられ公表されているが、巻末文献に記したように1977年（昭和52年）松林正義氏の論文、および地すべり記録集No.9によっても整理発表されている。

1977年（昭和52年）以後は継続的観測を続けると共に、各年度の地すべり対策工事に必要な各地区毎に詳細な調査を実施してきた。特に1979～1980年（昭和54年～55年）には二次的すべり地帯の地下構造を重点的に調査し、末端部の対策工事の具体的方針を検討している。また、集水井の効果を判定するための調査も行っている。

表4-1 1966～1976年茶臼山地すべり調査一覧表

調査事項	調査方法規模	調査実施年度	備考
地盤変動状況	トランシットレベルによる移動量観測 7 測線 伸縮計による周辺亀裂の観測 5 箇所 傾斜計による微小変動観測 5 箇所	1966年～1976年 1966年～1972年 1966年～1973年	
地下構造調査	ボーリングによる地質土質調査  弾性波探査 7 測線 4,450m  電気探査 { 4 測線 110点 9 測線 300点 4 測線 50点 4 測線 50点 自然放射能探査 12測線 6000m 1212点	1967年～1975年  1967年  1967年 1970年 1970年 1971年 1967年	{ 1967年—27孔 1968年—31孔 1969年—8孔 1970年—8孔 1971年—13孔 1972年—22孔 1973年—20孔 1975年—5孔
地下水調査	ボーリング孔における流動層調査  地下水追跡調査 6ヶ所  揚水試験 13回  水質試験 { 一斉同時採水 約60ヶ所で3回 継続採水 週1回 14ヶ所 地下水水位調査 { 各ボーリング孔と一部の深井戸で実施	1967年～1973年  1968年 1972年  1966年～1973年  1967年～1969年  1966年～1976年	{ 1967年—17孔 1968年—17孔 1971年—10孔 1972年—20孔 1973年—20孔   { 各深井戸で実施 1972年は揚水孔掘削
地すべり面調査	地中内部歪計による調査	1966年～1973年	{ 1967—20孔 1968—19孔 1970—3孔 1972—17孔 1973—17孔

## 4-2. 地すべり地の地下構造および地すべり面

### (1) ボーリング調査により判明した地下構造

本地すべりでは昭和の初期から多くのボーリング調査が行われているが、ここでは1957年(昭和32年)以後長野県で実施したボーリング資料から判明したこの地区の地下構造を記述する。

茶臼山地すべりを含む広域的な地質状況は2章で述べた。これはボーリングの結果からも裏付けられている。地すべり地周辺の地層層序を、より詳細に検討するために1957年(昭和32年)にA-A測線の南方の地すべり地外に施工したボーリングNo.1(図4-1)のコアを見ると次のことが言える。

この孔では91.0m以下が黒雲母・石英を多含する凝灰岩になっている。これが基盤となる裾花凝灰岩である。また、89.5~91.0m間が濃茶褐色の泥岩・細粒砂岩となっており、さらに91.0~97.0m間の黒雲母凝灰岩が茶褐色に変色している。この変色は上部ほど著しく下部にいたるほどうすくなっている。この濃褐色~茶色の泥岩と凝灰岩層は極めて特徴的なので、この上位にある亜炭層とともにこの地区の地層追跡の鍵層になっている。横断面にこの地層をプロットしてみると地すべり地の左岸側に露出している茶褐色泥岩層をその傾斜に沿って延長した位置とほぼ一致している。

信里砂岩層はその岩相からさらに二層に分けられる。すなわち、深度0~52.5m(実際の層厚47.5m)までの上部層と、52.5~91.0m(層厚35m)までの下部層である。

上部層は粗粒~中粒の石英粒子を多く含む砂岩が主体となり、凝灰岩質部と泥岩が少ない。地すべり地の右岸側の滑落崖上部にみられる地層がこの部分に相当する。そして、この中に厚さ0.4~0.5mの亜炭層が3枚は含まれている。

下部層は凝灰質砂岩を主体にし、泥岩・亜炭をはさんでいる。凝灰質砂岩は石英・黒雲母に富み、組成的には裾花凝灰岩層とほとんど同じである。新鮮なものは青灰色を呈しているが所によっては緑色を帯びている。亜炭層は、ボーリングNo.1では82.5~84.0m間のみに含まれているが、他のボーリングでは2~3層になっていることもあり、その厚さも一定でない。炭質はあまり良くなく、凝灰岩や泥岩と混合している場合が多い。しかし、もっとも厚い最下位の亜炭層の下には前述した濃茶褐色の泥岩層があり、その下は裾花凝灰岩層になっており、この亜炭層や泥岩層付近がすべり面になっている場合が多い。

1967~1968年(昭和42~43年)度施工のボーリング結果から裾花凝灰岩層上部の茶褐色泥岩層・亜炭層を連続すると、横断方向ではいずれもこれらが地すべり地左岸側で浅く南西にいたる程深くなっている(図4-3)。地すべり地上部の地層は裾花凝灰岩層を基底にして、その上に信里砂岩層が単斜構造で乗っていることが裏付けられる。

次に茶褐色泥岩層・亜炭層を鍵層にして、地すべり発生地帯で地層の縦断方向の連続性を検討してみると(図4-5)上沼上部ではボーリング孔42-5と42-15の間、42-12と42-14の間、42-3と42-6の間でいずれも東北側が2~4m程度下っていて、明らかに食い違っている。この食い違い箇所を結んだ線は現在の三角山東縁の崖から40m程東側を南北に延びている。これを北へ延長すると大体42-2の東にあたり、茶臼山北峰をえぐっている東側ブロックの西側の境界付近になる。また南へ延長すると7号深井戸の南になるが、延長部にあたる滑落崖では下流側が全体的に地すべり地の方向へずり落ちようになっている。ボーリング結果などを総合して考えると東落ちの小さな断層がある可能性が強い。そして、これが地すべり発生当初の上部滑落崖の位置に極めて近い点は注目して良いと思われる。

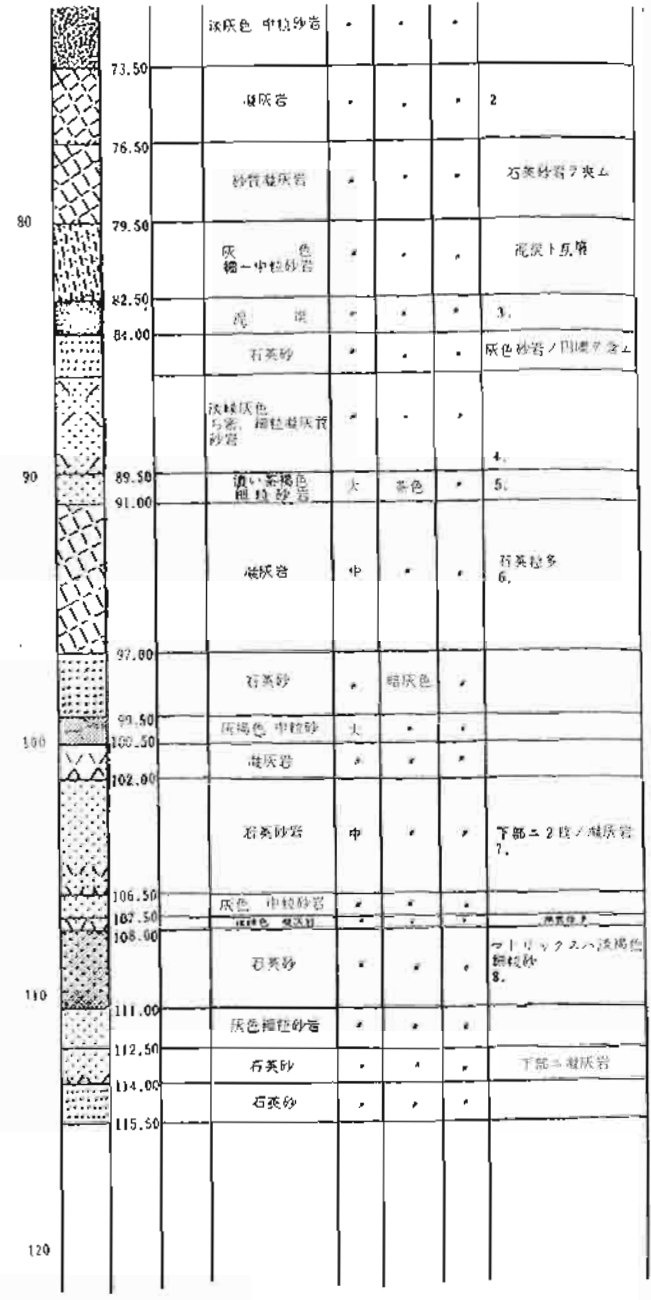
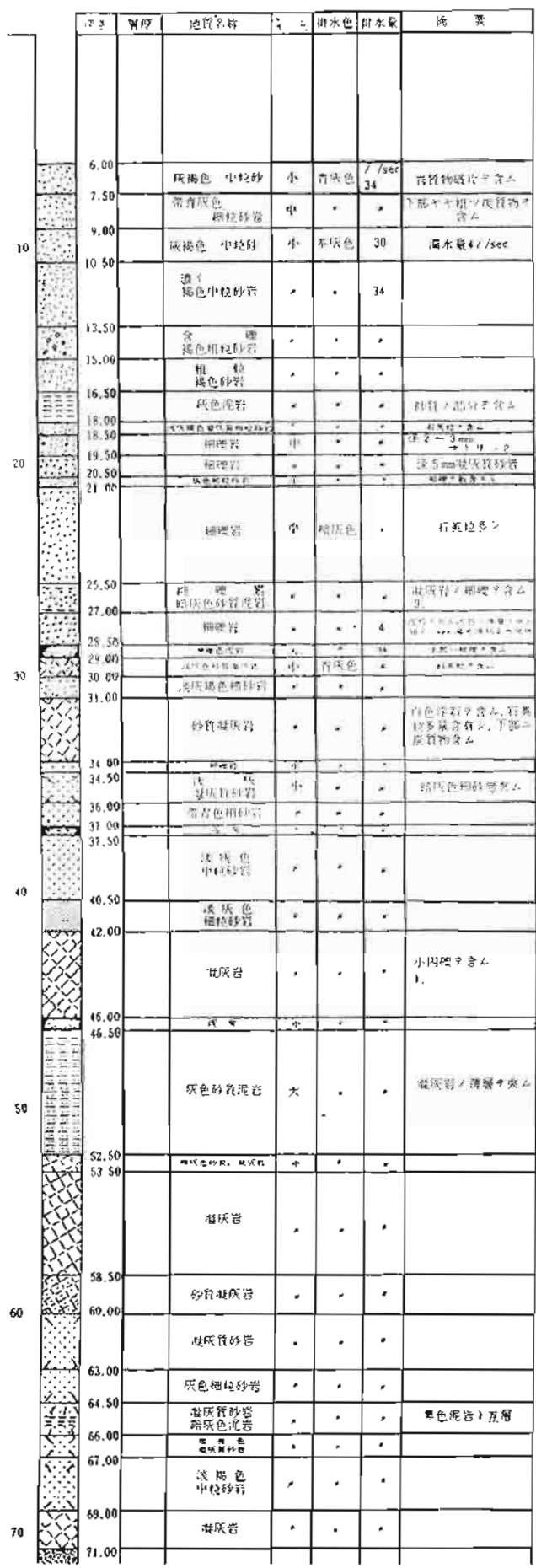


図4-1 茶白山ボーリング柱状図 No. 1

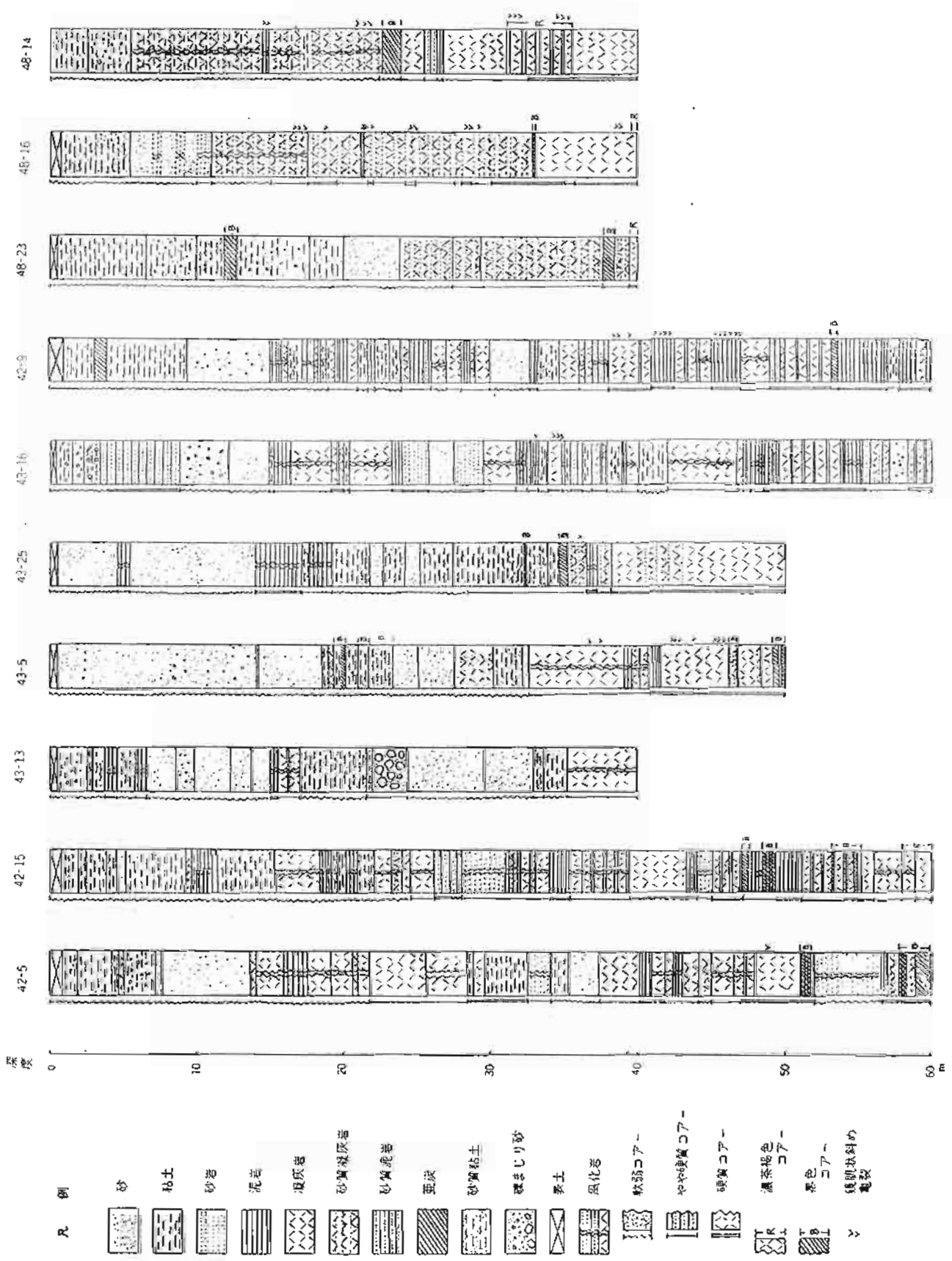


図4-2 主要ボーリング柱状図 (地すべり発生地帯)

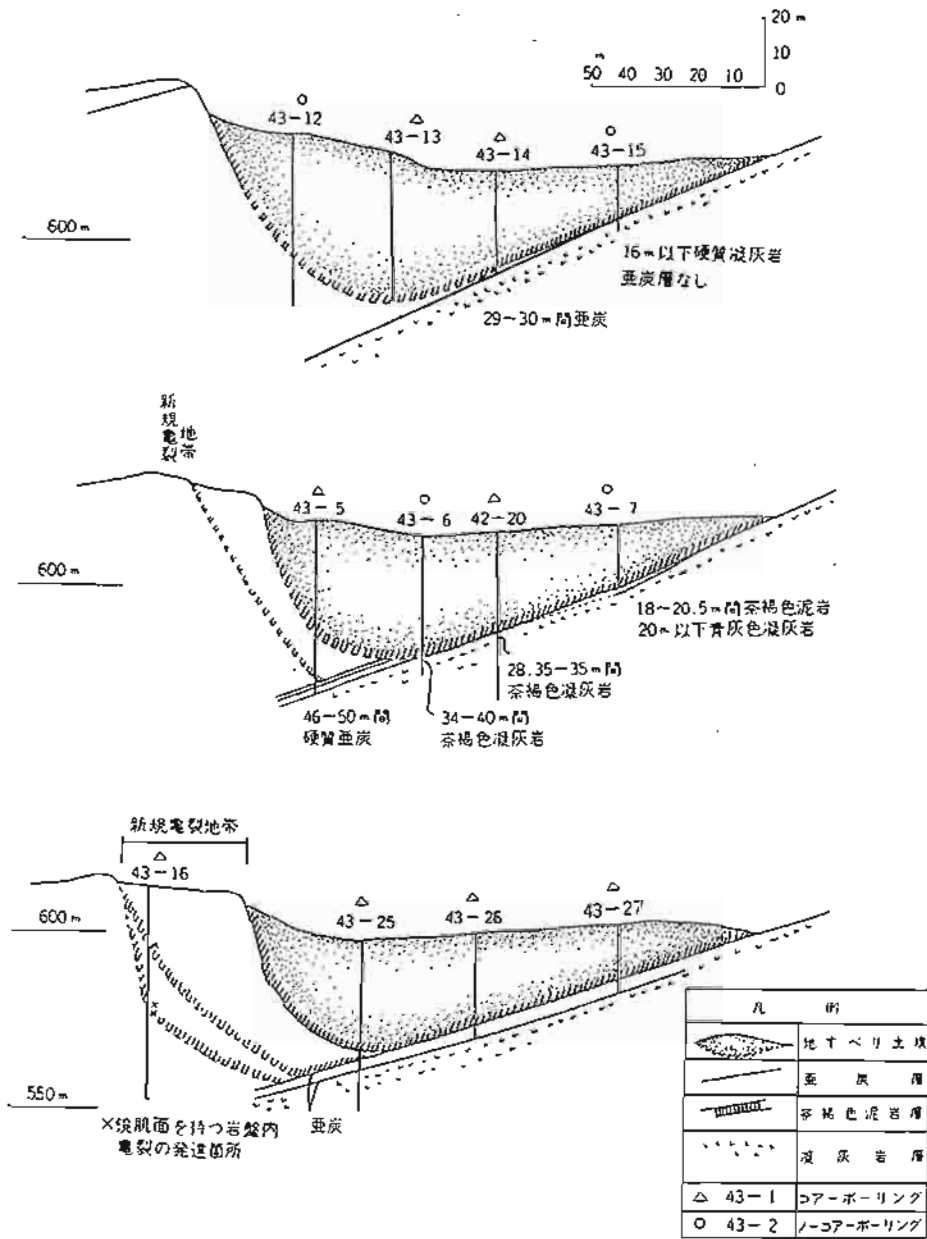


図4-3 地すべり発生地帯横断面図



次に 1968 年・1969 年（昭和 43・44 年）施工のボーリングコアでは、信里砂岩層下部の中に水平面に対して 45~70° の角度を持つ縦方向亀裂がしばしばみられ、亀裂面が鏡肌になっていることが多い。また、亀裂をはさんで左右の岩質が異なり、明らかにこの面で岩盤の食い違いがおこったことが推定できるものがある。このような亀裂の多いコアが採取されたボーリング孔は上沼上方、右岸側地すべり界付近、新規亀裂地帯内等である。そして、これらの亀裂の認められる深さはかなり深く、例えば 43-5 では硬質な亜炭層（信里砂岩層最下部の亜炭層）の直上部にあたる 34.6~46.0m 間であり、42-5 では最も深いものが 48.7m にある。この位置は明らかに主地すべり面より下である（図 4-2）。このことから、地すべり地上部や新規亀裂地帯などの周辺部では岩盤の変形が深い位置で発生しているのではないかとみられる。

一方、信里砂岩層下部層の中に極めて粒度のそろった軟質の細~中粒砂層が認められることがある。42-5・43-5・43-8 等がそれで 42-5 では明らかにこの砂層中を地下水が流動している。これらの砂層はむしろ地下水流動によって粒子間の粘土分を洗い流されたように見られるもので、地下水を考察するにあたっては注目しなければならないものである。

## (2) 地すべり発生地帯の地すべり面の位置と地質との関係

地すべり面の位置を知ることは対策工事の実施上不可欠のことで、茶臼山地すべりでもいろいろな方法で調査が行われてきた。ここで、行ってきた地すべり面の調査方法には次のようなものがある。

### a) ボーリング孔の食い違い深度を調べる方法

土塊の移動速度が大きかった昭和 30 年代に主として行った方法で、一度ボーリングした孔を 2~3 日後に再掘進して新しくコアの採れる位置をすべり面としたものである。この方法では B~B 測線から上流部で明瞭にその位置が確認された。C-C 測線以下では途中の孔曲がり著しく確認が困難なものもあったが、それでもおよその位置は推定された。この方法は最上位のすべり面しか確認できないこと、移動速度が小さくなると不明瞭な場合が多いこと、土塊の細かい変動は判らないこと等の欠点があった。

### b) 地中内部歪形の測定による方法

これは言うまでもなく全国各地の地すべり地で行われている方法で、昭和 40 年代には茶臼山でも主としてこの方法によっている。

### c) ボーリングコアの観察による方法

b) の地中内部歪計ではある幅の中で地すべり面の存在が想定されるので、これに合わせてコアの観察を行って、すべり面位置を推定している。上流部の岩盤地すべり地帯ではすべり面には明瞭なスリッケンサイドが見られ、深度がそれから推定できる。

### d) 地表面で認められる地すべり面の構造から推定する方法

この地すべり地上部の左岸側には前述したように、過去に地すべり面であった面がその後の土塊流下によって次第に露出してきている。また、三角山の南西斜面も同様の地すべり面である。これらは泥岩層の地層面であるからその構造を延長することによって左岸側浅層部の地すべり面が推定できる。

これらの方法、特に地中内部歪計の観測結果から推定された地すべり面と地質との関係を見ると、地すべり発生地帯の地すべり面は主として信里砂岩層の下部層中に形成されており、特定の地層面上だけに形成されるというものではない。そして多くの場合、その最深の位置は裾花凝灰岩層の直上位に重なる亜炭および炭質泥岩付近になっていて、茶褐色に変色した凝灰岩は不動基盤になっている。

しかし、地すべり発生地帯の下部 B-B 測線付近ではボーリングの結果、茶褐色泥岩・凝灰岩層が失われていることが明らかにされているし、43-25 の地中内部歪計観測では裾花凝灰岩層内にも歪の累積が見られることから、地すべりにより亜炭層が失われ、地すべり面がさらに深部の裾花凝灰岩中にくい込んでいることがわかる。

攪乱帯から下流では上部からの地すべり土塊の圧力によって、そこに以前からあった旧地すべり堆積物の浅層部が移動させられ、その中にすべり面ができています。ただし、末端部の Z-Z 測線方面では在来土塊の

上に地すべり土塊がおしかぶさっているだけで、在来土塊の移動があまり認められない所が多い。

### (3) 地すべり発生地帯の地すべり断面

1967～1968年(昭和42～43年)施工のボーリング孔で観測された地中内部歪計のデータから地すべり面を推定すると、地すべり発生地帯における地すべり面は一枚だけでなく何枚も認められ、かつ累積部分にかなりの幅がある。また、層すべりの形態のものの中抜けの形態を示しているものがある。このような点からみて、地すべり形態はかなり複雑であり、単純な層すべりではないことがうかがえ、地すべり面も単一な面としてとらえることができず、幅をもった地すべり層の中に形成されていると見られる。

地すべり形態は全体的に見て左岸側は単純な層すべりを主体としているが、中心部から右岸側になると複雑化している。歪の累積状況を見ても左岸側ではシャープに歪累積が見られる反面、右岸よりではそうした単純さがなくなっている。

一方、歪累積の見られる箇所の最深部は信里砂岩層最下部の亜炭層付近になり、この層より上の岩塊がすべっているか、すべる可能性を持っていることが明らかである。また、上流部の三角山の西側では土塊がすべりくたさる種々の段階において種々の地すべり面が形成されているが、最終的には特定地層(三角山南西面の泥岩層)の上面をすべり面とし、それより上の土塊がすべり落ちている。

これらのことから考えて、地すべり発生地帯では個々の時点で多くのすべり面の複合からなる複雑な変位があっても、最終的には前述の裾花凝灰岩層直上位の亜炭層およびベントナイト質泥岩層の構造に規制され、それより上部の土塊が不安定な地すべり土塊になると見られる。その意味での地すべり断面を作ると図4-3・図4-4の如き三角形の断面が想定される。

ただし、これは地すべり発生地帯中・上部の状況でB-B測線付近から下方では必ずしもこうした形にはならない。ボーリング孔の食い違い箇所を調査した主地すべり面をつらねて見るとB-B測線では左岸側が浅く右岸側が深い三角形となっているが、C-C測線では深度が平均化してこの傾向が消えている。

B-B測線付近から上方では岩盤すべりの性格が強いため特定地層の構造に支配されるが、下方ではそれがなくなるためと見られる。

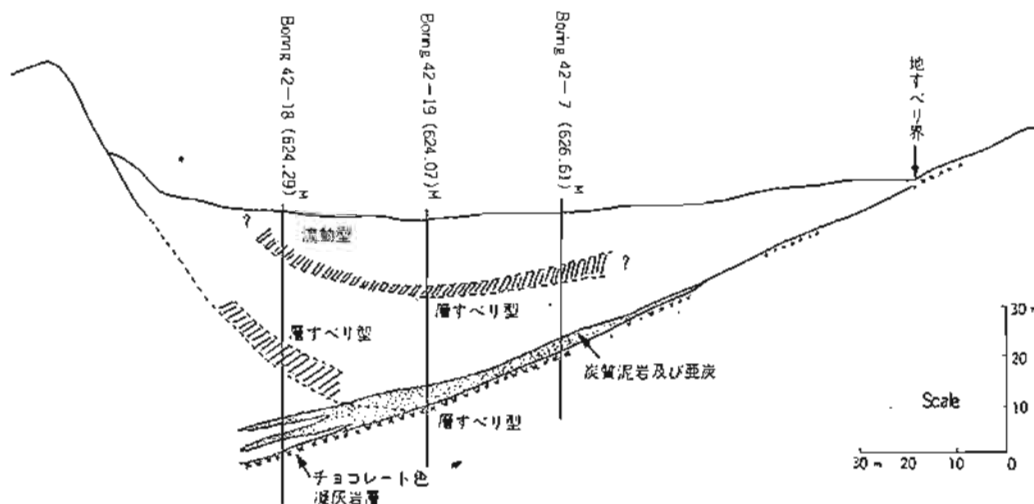


図4-4 地すべり横断面図

図 4-5 はボーリング孔の食い違い箇所と地中内部歪計のデータで得られた歪累積が最大の箇所を地すべり地のほぼ中央部を通る縦断図上にプロットし縦断的な地すべり断面を示したものである。これから地すべり面の全体的な傾斜が非常に緩であり、また上沼上方から A-A 測線付近にかけて平坦な面状をなし、A-A 測線下方から B-B 測線下方にかけて大きな円弧状をなしていることがわかる。そして、後者の円弧の上端の位置が新規亀裂地帯の上部が地すべり地に入る箇所とほぼ一致している点は注目される。

#### (4) 新規亀裂地帯の地すべり面

新規亀裂地帯における土塊の変動状況は、地すべり発生地帯のそれとかなり異なっているため地すべり面の形態も問題である。ここでは 1967 年（昭和 42 年）のボーリング資料から若干の考察をしてみたい。新期亀裂地帯では 6 本のボーリングが実施されているが地中内部歪計で観測したものは 42-9、42-10 のみである。2.0m ピッチに深度 60m まで一方向のペーパーストレンゲージを保孔管に貼って、その変形を調査した。その結果では 42-9 で 21~27m および 45m に、42-10 で 17~19m、47~49m に歪累積が認められた。これをコアの地質から見ると 42-9 の 21~27m は青灰色の風化泥岩、凝灰岩および軟質砂岩であり、45m は緑灰色の風化凝灰岩と暗灰色の硬質泥岩との境界にあっている。前者には鏡肌の如きものが見られないが、後者では 45~47m 間の硬質泥岩中に鏡肌をもった斜め亀裂が認められる。42-10 の 17~19m 間は軟質の青灰色砂質粘土と風化した泥岩で、47~49m 間はやや硬質の暗灰色凝灰岩である。なお、49.90~51.10m 間は硬質の亜炭と炭質泥岩となっており、その下位は硬質の裾花凝灰岩となる。しかるに 47.95~48.15m 間の凝灰岩にはさまれている泥岩の中、および 53.10m、53.40m、54.30m の硬質凝灰岩中にいずれも鏡肌を有する斜め亀裂が認められる。以上の結果からみると新規亀裂地帯における地すべり面も深部と浅部の 2 箇所があり、深部のもは硬質岩盤内に生じており、裾花凝灰岩内にくい込んでいると見られる。

42-9 は南側の崖から 8m の位置にある。この孔における最深部の歪累積箇所は 45m になっている。これから南側の崖は垂直に近い形でつつこんでいることが想定される。岩盤地すべり初期の段階における周辺滑落崖の形態はこのようなものであって、茶臼山上部の滑落崖も当初はこのような形で形成され、初めは中抜けと沈下を主体にした動きを示し、その後横方向移動が加わってきたものと見られる。

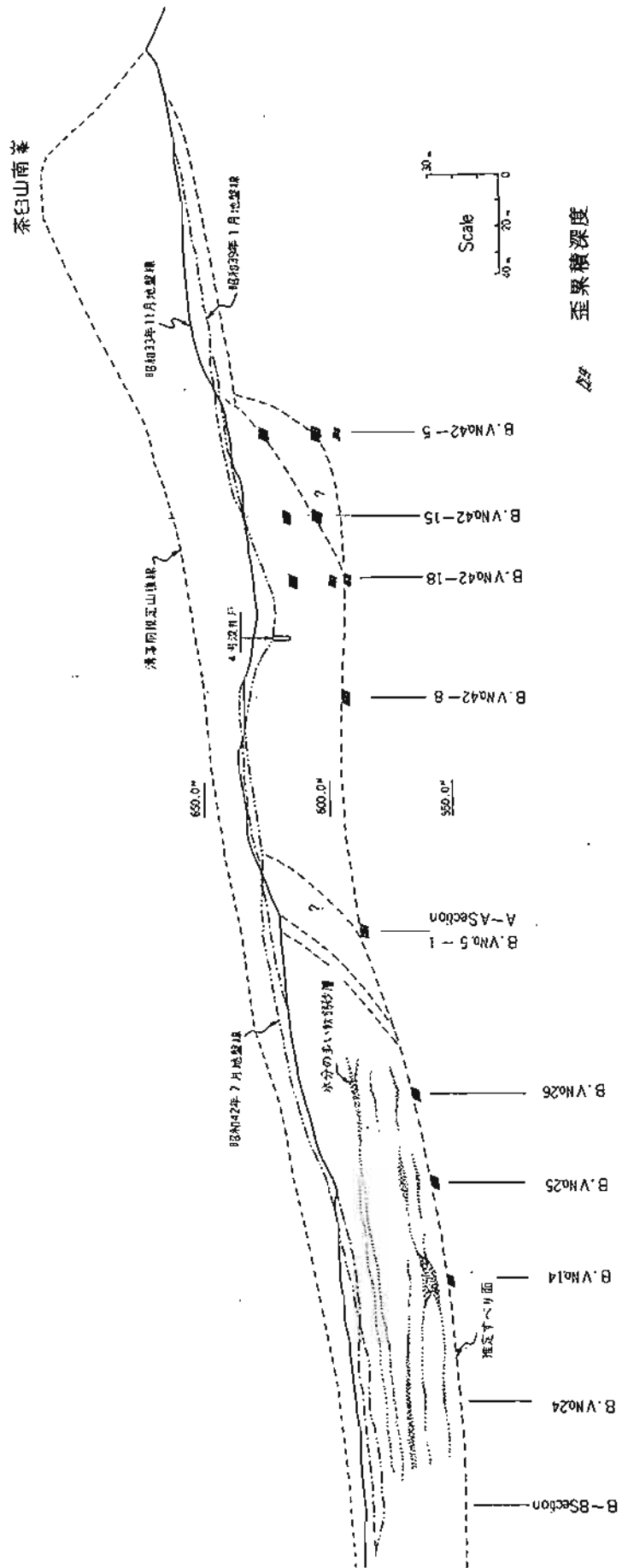


図4-5 地すべり発生地帯縦断面図

(5) 不動島付近の地すべり面

C-C測線付近から下方では山腹に堆積していた旧期崩積土を、地すべり発生地帯から押し出した地塊（新期崩積土）が押しながらこれを再滑動させている。この状況から不動島周辺の地すべり面は新期崩積土と旧期崩積土の境界に形成されている。ところが、この付近では新しい崩積土は地すべり発生地帯から押し出したものであるため安山岩の転石を含んでいない。これに対し、旧期崩積土は有旅方面から押し出したと見られるもので、山新田集落の乗る地盤の続きであり、安山岩の転石を大量に含有している。このため、両者の境界は、それらの違いから容易に識別できる。図4-6は1972年（昭和47年）にボーリング調査を行って、これを確認し、地すべり断面を明らかにしたものである。これから不動島付近では基盤に裾花凝灰岩層があり、この上に旧期崩積土が乗る。裾花凝灰岩層の深度は北側ほど深くなり、旧期崩積土の厚さも北側ほど大きくなっていることがわかる。新期崩積土の厚さも北側で大きく（最大15m）、不動島の南側で浅い。また、不動島のある位置では裾花凝灰岩層がその両側より浅くなっているのがわかる。このような構造が不動島を形成させる素因であったと言える。

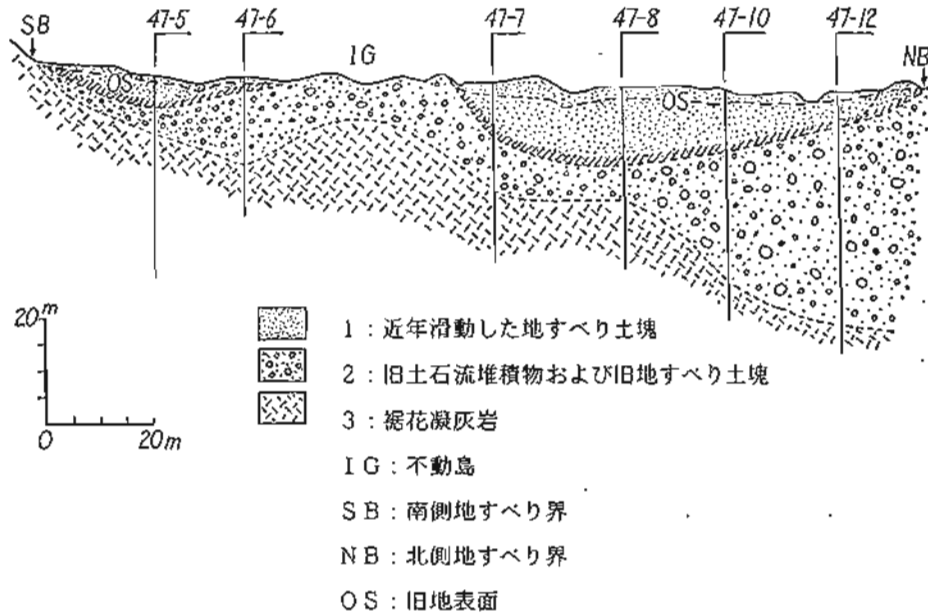


図4-6 不動島付近地質断面図

#### (6) 二次的地すべり地帯下流部のすべり面

不動島周辺の急坂部をすべり下った地すべり土塊はここにあった旧地すべり土塊の表層部を削りながら、旧滝沢川の流路沿いに押し出した。この時、旧滝沢川に築造されていた小規模な谷止工などを持ち上げるようにして滑動している。しかし、Z-Z測線の北端付近に1949年(昭和24年)に施工された岡田堰堤は移動させられることはなく、土塊はこれを乗り越えている。

1979・1980年度(昭和54年・55年度)には、この二次的地すべり地帯全域の地質状況・地すべり面深度・地下水賦存状況を調査し、地すべり対策工法を検討した。この結果では地すべり面は地中内部歪計などで明確に把握された所は少なく、地表にあらわれた亀裂などの状況を見ても、新しく押し出した地すべり土塊の浅層部がブロック化して変動するという状況になっていた。

地すべり土塊をボーリングコアから検討すると旧期崩積土(崩土I)と新期崩積土(崩土II)に分けることができる。

崩土Iはかなり締まった風化砂岩・粘土を主体にしており、安山岩の転石を多く混入している。また、その上面や内部の所々に垂炭片を混入している。これは地すべり地末端部のリンゴ畑になっている緩斜面につづくと思われるもので、旧地すべり堆積物と考えられるものである。

崩土Iの上に崩土IIが乗るが、これはかなり固結緩い粘土と砂からなり、下流側では右岸で安山岩の転石を、左岸で砂を多く混入しており、新期の崩積土であることがコアの状況からも判断された。

各ボーリング孔で認められた崩土I・崩土IIの境界は表4-2のとおりである。

今回の地すべり土塊はほぼ崩土IIにあたりと見られるが、その分布深度は旧滝沢川の流路に沿う左岸側で深く、右岸側でやや浅くなっている。地すべり方向での分布を見た場合、不動島周辺の急坂部で浅く(54-1・54-2・55-11・55-12)7~15mであるのが、その下方の山新田集落の南方から下流で厚くなり、最大32mになっている。ただし、崩土II全てが今回の地すべり土塊であるかは疑問である。また、断面的な形状は不規則であり、先端部にあたる扇状の部分ではかなり薄くなっている。

なお、これらの崩土中には垂炭片や木塊が含有されていたので、そのC14年代測定を行った。その結果は表4-3のとおりである。これをみると、崩土Iの形成期はかなり古く、ウルム氷期の中でも最も寒冷だった時期に形成されたことになる。

表 4-2 二次的地すべり地帯のボーリング調査による地盤状況

孔番号	掘進長 (m)	崩土IIの深度 (m)	推定すべり面 (m)	地盤状況
54- 1	40.0	7.30	4.0	7.30m 以深 裾花凝灰岩
54- 2	40.0	12.40	5.5	12.40~18.80m 旧崩積土 18.80m 以深 裾花凝灰岩
54- 3	45.0	18.50	18.5	
54- 4	45.0	17.00		
54- 5	45.0	18.70	4.0	25.20m 以深 風化凝灰質砂岩
54- 6	30.0			
54- 7	30.0	26.00		
54- 8	30.0	27.80		
54- 9	40.0	10.50		
55-10	22.0	13.10		17.10m 以深 裾花凝灰岩
55-11	39.0	15.00		19.10m 以深 旧崩積土
55-12	30.0	13.00		15.50~21.00m 旧崩積土 21.00m 以深 裾花凝灰岩・風化砂岩
55-13	40.0	27.75		
55-14	50.0	16.40		39.60m 以深 風化凝灰質砂岩
55-15	65.0	32.20		
55-16	30.0	14.00		
55-17	35.0	10.00		
55-18	28.5	6.70		

表 4-3 年代測定結果

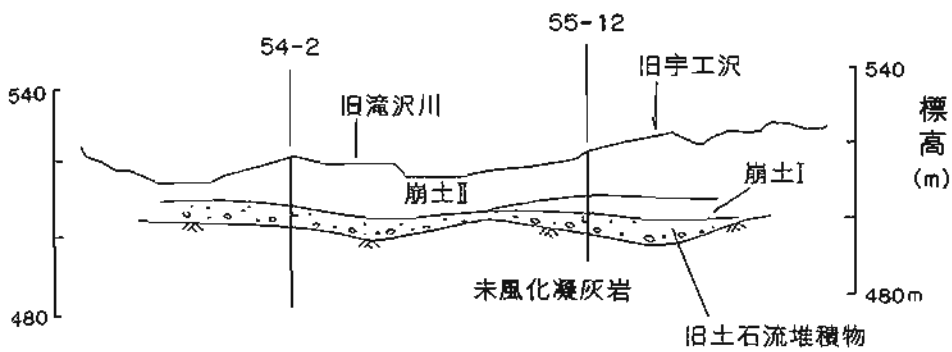
孔番号	深度 (m)	崩土分類	年代	試料状況
54- 3	23.5	I	19640±880	粘土中に径数 mm の亜炭片
54- 4	40.3	I	22940±790	亜炭塊
54- 5	9.4	II	最近 (±200~300)	あまり炭化しない木塊
	18.8	II	3060±320	炭化しない草根
排水トンネル	40+	I	32420+	砕かれた大きな木の幹 G a k - 10898

(注) 排水トンネルの試料は 2 号トンネルの枝線トンネルの掘削中、裾花凝灰岩の上面とこれを被う安山岩塊からなる土石流堆積物 (崩土 I の下部にある) の境界にあった大きな木幹である。

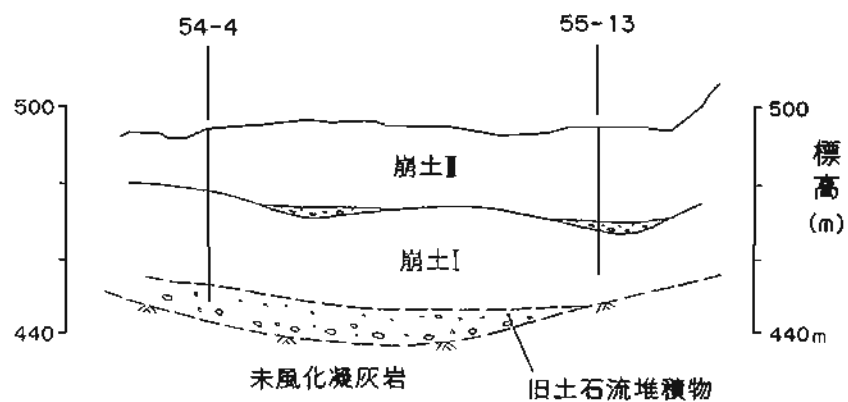




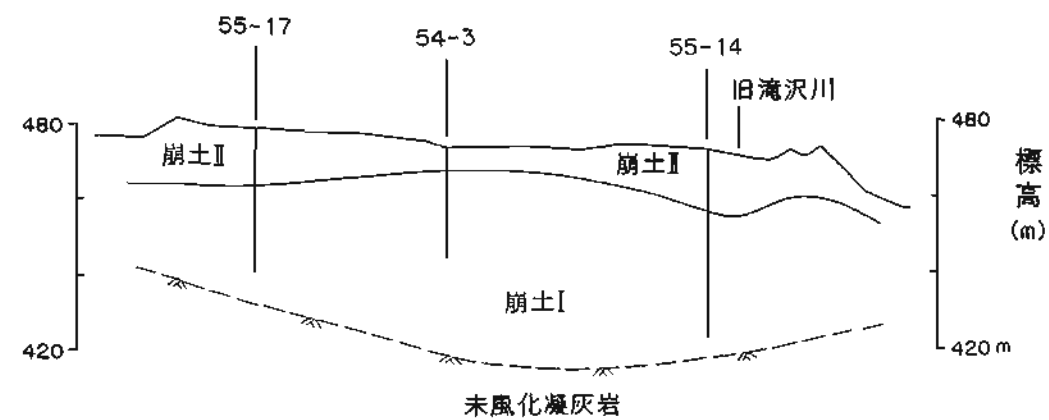
横断面 1



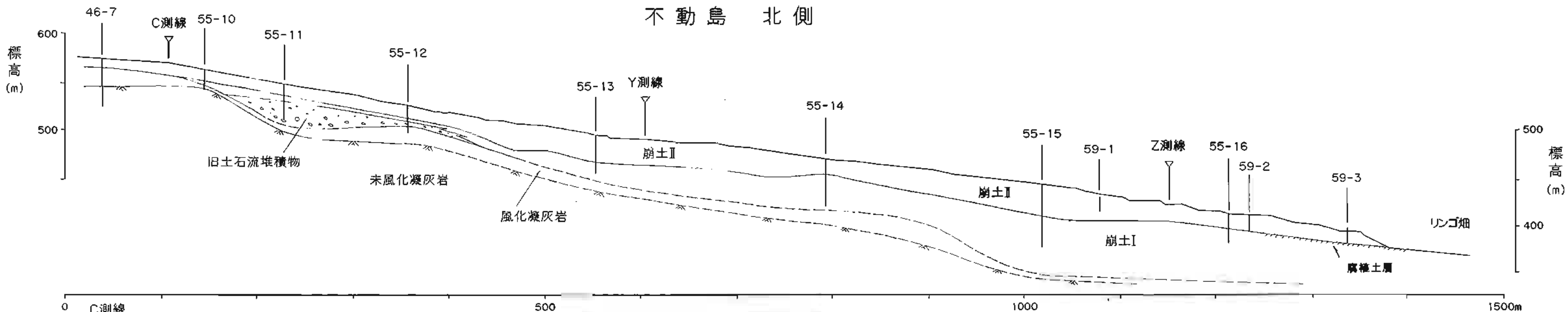
横断面 2



横断面 3



不動島 北側



不動島 南側

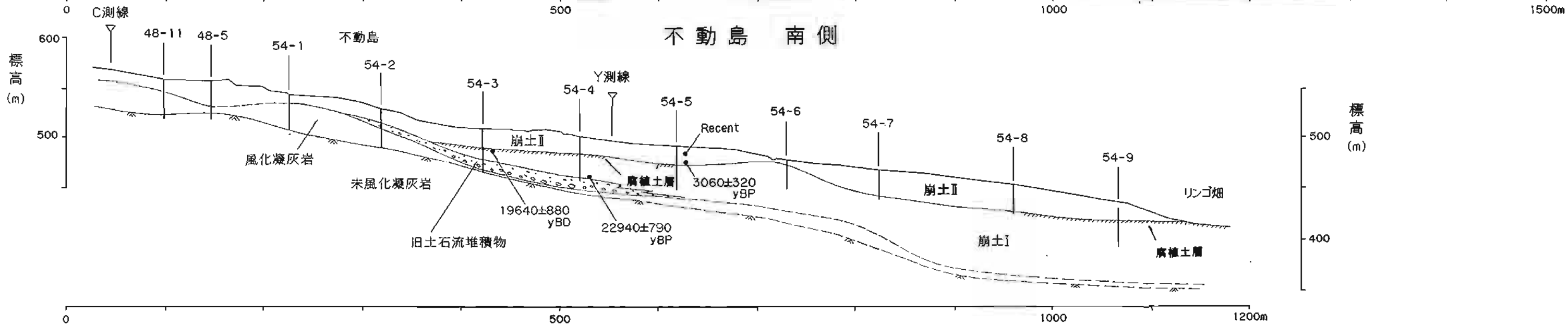


図4-7 二次的地すべり地帯地質断面図



#### 4-3. 地すべり土塊および基盤岩の土質特性

次に地すべり発生地帯において、地すべり土塊と不動地区における岩盤の土質特性を明らかにするため実施した土質試験の結果について記述する。そこでは特に地すべり面の形成に主要な役割を果たしたと見られる茶褐色泥岩層の特性を検討した。

上沼において1971年(昭和46年)3本のボーリング(横断方向に直線状に、地すべり地内2本46-1・46-2、地すべり地外1本46-3)を行いコアを採取し、これを試料として土質試験を行ったもので、結果は表4-4・表4-5の通りである。また、代表試料のX線回析図は図4-8(1)・(2)の通りである。なお、試験方法は下記のようなものである。

##### [測定方法]

- (イ) 土色；生試料を風乾細土に調整し、これに水を加え、湿土の土色を標準土色帖で決定する。
- (ロ) 土性；触感による。
- (ハ) PH；風乾細土(1)に純水(2.5)を加え、ガラス電極により測定する。  
KCl・PH；風乾細土(1)にN-KCl(2.5)を加え測定する。これは試料の置換酸性の指標である。
- (ニ) 透水係数；風乾細土を $1\text{kg}/\text{cm}^2$ で加圧充填し、その飽和透水係数(K20)を測定する。
- (ホ) 収縮常数(収縮限界・乾土仮比重)；JIS常法による。
- (ヘ) 粘土鉱物；常法(Na-Clay)により粘土を分離し、Mg-ClayおよびK-ClayにつきX線回析により同定する。
- (ト) 凝集力；繰り返し充填試料の風乾水分における切断抵抗(金子くさび法)。
- (チ) 風乾土水分；試験用に調整した風乾細土の水分、標準値とは言えず参考にとどめる。
- (リ) 膨潤水；(飽和水分-収縮限界水分)によって表示した。

表4-4および表4-5の試料の中でA-15・B-20・C-33が茶褐色泥岩層である。

この試験の結果、判明した次項をまとめると次のとおりである。

- i) 3本のボーリングで確認された茶褐色泥岩層の深度は横断面上で一直線状にとらえられ、地すべり地の西南の崖付近で断層等によってくい違いをおこしていない。
- ii) 茶褐色泥岩層はいずれも粘土含量が高く、全体を通じて唯一のHeavy clayである。X線回析でこれを見ると結晶度の低いモンモリロナイトが多く、上位層の粘土とは明確に異なっている。
- iii) 信里砂岩層中の砂岩は不規則な粒度組成を示し、粘土と粗砂が同時に多いものが多く、一般的にはめずらしいSandy clayである。

粗砂は石英粒を主としており、非晶質のチャートは少ない。非常に粘質のように見えても砂分が緻密に充填されている。

- iv) 透水係数は全体に小さく $10^{-5}\sim 10^{-7}\text{cm}/\text{sec}$ のオーダーである。粘土含量が6.57~35.5%で粗砂が多いのにもかかわらず透水係数の小さい点が注目される。

また、コアを注意してシンウォールサンプラーに移して推定した透水係数K20(現地湿土の透水係数)と風乾試料のK20を比較すると前者が非常に小さくなっている(表4-6)。したがって現実の岩盤内のK20は極めて小さいものである。

- v) X線回析からみた地すべり地外の地層(地すべり発生地帯の西南側の地すべり地外の地層)は地内の地層と同じく非常に結晶度の高いモンモリロナイトを含む砂岩および泥岩からなる。

また、茶褐色泥岩層より下位の裾花凝灰岩層もモンモリロナイトを多く含む。粘土鉱物からは地すべり土塊と基盤岩、地すべり地内と地外の岩盤の区分けはできない。

表4-4 全試料の土質一般性

№ 46-1 (A)  
46-2 (B)  
46-3 (C)

№	深さ m	土色	土性	PH		№	深さ m	土色	土性 (H <sub>2</sub> O)	PH	
				(H <sub>2</sub> O)	(KCl)					(H <sub>2</sub> O)	(KCl)
A 1	3	10 YR2/3	SCL	3.6	3.0	C 1	4.5	2.5Y 6/6	SCL	4.9	3.63
2	6	7.5YR4/4	S L	4.2	3.7	2	8	7.5Y 3/1	SCL	4.6	3.5
3	9	7.5YR4/4	S	4.0	3.6	3	12	2.5GY2/1	L S	3.7	3.3
4	12	7.5YR4/4	S L	4.9	4.0	4	14	7.5Y 4/2	SCL	5.8	5.2
5	15	10 YR4/6	L S	4.8	4.0	5	16	5 Y 4/2	L S	—	—
6	18	2.5Y 3/3	S C	5.9	5.7	6	18	5 Y 4/2	S	—	—
7	21	5 Y 3/2	S C	6.1	5.7	7	20	2.5Y 5/2	S	—	—
8	24	5 GY5/4	C L	8.0	7.1	8	24	2.5Y 4/3	S L	6.3	6.2
9	27	5 GY4/1	S C	7.3	6.5	9	29	2.5Y 4/2	SiCL	6.8	6.4
10	30	10 Y 4/1	S L	6.7	5.7	10	33	10 Y 5/2	LiC	8.3	7.8
11	33	2.5GY4/1	S L	5.7	5.0	11	36	10 YR2/2	LiC	7.4	7.1
12	36	2.5GY4/1	S L	6.2	5.4	12	39	5 Y 4/2	S L	7.0	6.8
13	39	5 Y 2/1	C L	7.2	6.4	13	42	5 Y 4/4	S L	5.8	5.6
14	42	5 Y 2/1	S C	8.0	7.1	14	45	7.5Y 4/2	S L	5.3	4.6
15	45	5 YR4/3	H C	7.7	7.3	15	48	7.5Y 4/2	S L	4.9	4.3
16	48	7.5Y 6/1	SCL	9.1	7.4	16	51	2.5Y 3/2	LiC	7.3	6.6
17	51	5 GY4/1	LiC	8.8	7.7	17	54	7.5Y 5/2	LiC	8.3	7.3
18	54	10 GY5/1	LiC	9.1	7.8	18	56.7	2.5Y 5/2	LiC	7.8	7.7
19	57	2.5GY6/1	SCL	9.4	8.1	19	60	7.5Y 4/2	S L	7.5	7.1
20	60	2.5GY6/1	SCL	9.4	8.4	20	63	5 Y 4/2	S L	7.6	7.2
B 1	3.4	7.5YR4/3	LiC	3.6	3.0	21	66	7.5Y 4/2	S C	5.1	4.8
2	6.4	10 YR4/2	C L	3.2	2.7	22	69	10 Y 4/2	LiC	5.3	4.9
3	9.3	2.5GY2/1	C L	3.2	2.9	23	72	10 Y 5/2	L	8.1	7.6
4	12	10 YR4/4	S L	4.8	4.3	24	75	2.5Y 5/2	LiC	8.1	7.8
5	12.5	2.5Y 4/4	L S	4.7	3.8	25	78	5 Y 4/2	C L	7.5	7.0
6	15.2	2.5Y 4/6	L S	4.5	3.9	26	81	10 Y 2/6	C L	8.6	7.8
7	18.4	2.5Y 3/2	LiC	6.4	6.0	27	84	2.5Y 5/3	LiC	8.8	7.9
8	21.6	7.5Y 5/2	LiC	6.9	6.6	28	87	10 Y 5/1	LiC	8.2	7.6
9	24.7	7.5Y 5/2	LiC	7.9	7.8	29	90	10 Y 6/1	SCL	9.0	7.8
10	27.5	5 Y 4/2	SCL	5.3	4.4	30	93	10 Y 6/1	SCL	8.1	7.4
11	30.5	7.5Y 5/2	S C	8.1	7.7	31	96	5 GY5/1	LiC	8.8	8.0
12	33.6	10 Y 5/1	S L	5.0	4.5	32	99	7.5YR4/4	LiC	8.8	7.4
13	36.6	5 Y 6/2	LiC	9.0	7.8	33	100	7.5YR3/4	H C	8.2	7.2
14	39.6	7.5Y 5/2	LiC	8.6	7.9						
15	42.6	10 Y 5/2	C L	8.5	7.7						
16	45.6	5 GY5/1	L	7.6	6.9						
17	48.6	5 Y 4/2	SCL	8.9	7.8						
18	51.6	10 YR3/1	LiC	7.5	6.8						
19	54.4	10 YR2/2	LiC	8.2	7.2						
20	57.4	7.5Y 4/1	LiC	6.6	6.1						
21	60	5 YR5/3	H C	8.4	7.5						

表4-5 代表試料

No	深さ	粒 径 分 布(%)				土性	透水係数 cm/sec	膨 潤 %	假比重 g/cm <sup>3</sup>	風 乾 水分 %	粘土鉱物	切 断 kg/cm <sup>2</sup>	
		CS	FS	Silt	Clay								
A	4	12	48.99	22.94	14.91	13.16	S L	$5.4 \cdot 10^{-5}$	9.7	1.74	2.06	M(7A,I)	3.7
	6	18	38.76	26.26	6.06	28.92	S C	$2.4 \cdot 10^{-6}$	20.7	1.74	3.06	M(7A,I)	5.3
	8	24	36.98	17.41	21.45	24.16	C L	$6.5 \cdot 10^{-7}$	27.7	1.72	3.34	M 7A	6.4
	11	33	21.10	55.73	17.89	13.03	S L	$4.7 \cdot 10^{-5}$	28.1	1.59	4.74		9.2
	12	36	30.20	46.21	14.48	9.11	S L	$7.2 \cdot 10^{-5}$	6.8	1.66	1.24	M(7A,I)	3.4
	13	39	5.81	44.80	31.38	20.51	C L	$7.8 \cdot 10^{-7}$	35.9	1.32	8.76		6.7
	14	42	39.03	23.35	9.03	28.59	S C	$1.2 \cdot 10^{-6}$	53.0	1.70	7.64		9.8
	15	45	11.85	5.69	6.45	76.01	H C	$6.1 \cdot 10^{-6}$	47.7	1.62	7.57	M, 7A(I)	7.5
	18	54	31.94	20.48	21.70	25.88	L i C	$1.4 \cdot 10^{-5}$	27.0	1.62	5.36	M, 7A	9.6
B	4	12	47.01	27.70	14.24	11.05	S L	$3.3 \cdot 10^{-5}$	4.4	1.70	1.88		2.3
	8	21.6	17.55	29.70	18.72	34.03	L i C	$8.8 \cdot 10^{-7}$	44.0	1.68	8.48		9.1
	10	27.5	38.28	21.08	17.86	22.78	SCL	$2.4 \cdot 10^{-5}$	28.1	1.59	4.67		4.4
	12	33.6	50.03	29.61	10.77	9.59	S L	$2.2 \cdot 10^{-5}$	17.8	1.79	1.63		3.0
	14	39.6	20.49	26.00	19.21	34.30	L i C	$4.1 \cdot 10^{-7}$	53.6	1.77	5.91	M(7A)	17.3
	16	45.6	14.18	47.43	25.86	12.51	L	$1.0 \cdot 10^{-6}$	40.6	1.63	5.51		15.2
	20	57.4	14.19	34.09	24.62	27.10	L i C	$5.0 \cdot 10^{-6}$	38.1	1.49	6.29		6.3
	21	60	10.41	5.94	10.34	73.31	H C	$9.0 \cdot 10^{-7}$	47.6	1.67	6.05	M(7A,I)	8.0
C	3	12	42.95	40.99	8.45	7.61	L S	$9.9 \cdot 10^{-5}$	10.6	1.39	4.54		3.7
	8	24	55.79	26.27	11.37	6.57	S L	$4.8 \cdot 10^{-5}$	7.3	1.77	1.51		4.2
	9	29	9.68	20.15	47.89	22.27	S i C L	$9.1 \cdot 10^{-6}$	32.1	1.53	5.12	M(7A,I)	9.6
	10	33	38.80	14.02	11.95	35.23	L i C	$4.4 \cdot 10^{-6}$	45.0	1.61	9.11		4.3
	14	45	33.55	37.22	16.57	12.66	S L	$2.4 \cdot 10^{-5}$	47.4	1.37	8.50		8.7
	16	51	12.22	22.15	24.40	41.23	L i C	$4.1 \cdot 10^{-6}$	51.9	1.69	6.73		19.8
	17	54	16.57	27.68	29.33	26.42	L i C	$9.1 \cdot 10^{-7}$	35.0	1.63	5.58	M, 7A	10.5
	20	63	45.44	30.97	9.27	14.30	S L	$8.9 \cdot 10^{-6}$	10.9	1.61	2.44	M(7A)	2.7
	31	96	11.86	26.31	26.24	35.59	L i C	$5.5 \cdot 10^{-7}$	31.6	1.76	4.54	7A, M	16.5
	33	100	2.17	5.37	7.15	85.31	H C	$4.1 \cdot 10^{-6}$	47.9	1.58	8.42	M, 7A(I)	6.9

(参考) (参考) (参考)

表4-6 代表試料透水係数表

試料 No	中 性	K <sub>20</sub> 現地湿土	試料 假比重	K <sub>20</sub> 風 乾	假比重 g/l.c.c
A-12	S L	$2.4 \times 10^{-7}$	1.46	$7.2 \times 10^{-5}$	1.36
A-14	S C	$1.8 \times 10^{-7}$	1.11	$1.2 \times 10^{-6}$	1.09
A-15	H C	$2.2 \times 10^{-7}$	1.26	$6.1 \times 10^{-6}$	1.00

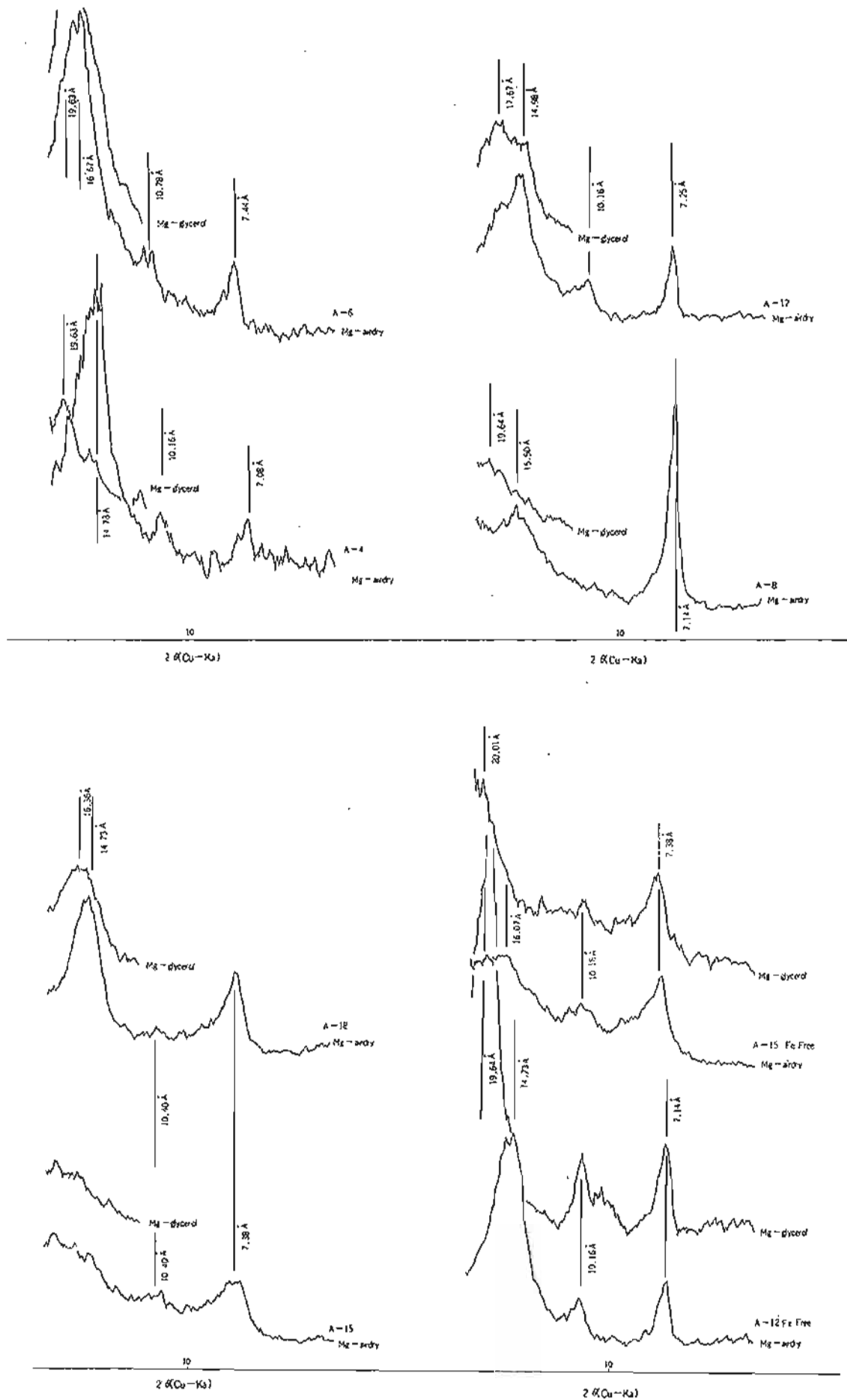


図4-8(1) X線回折図 (その1)

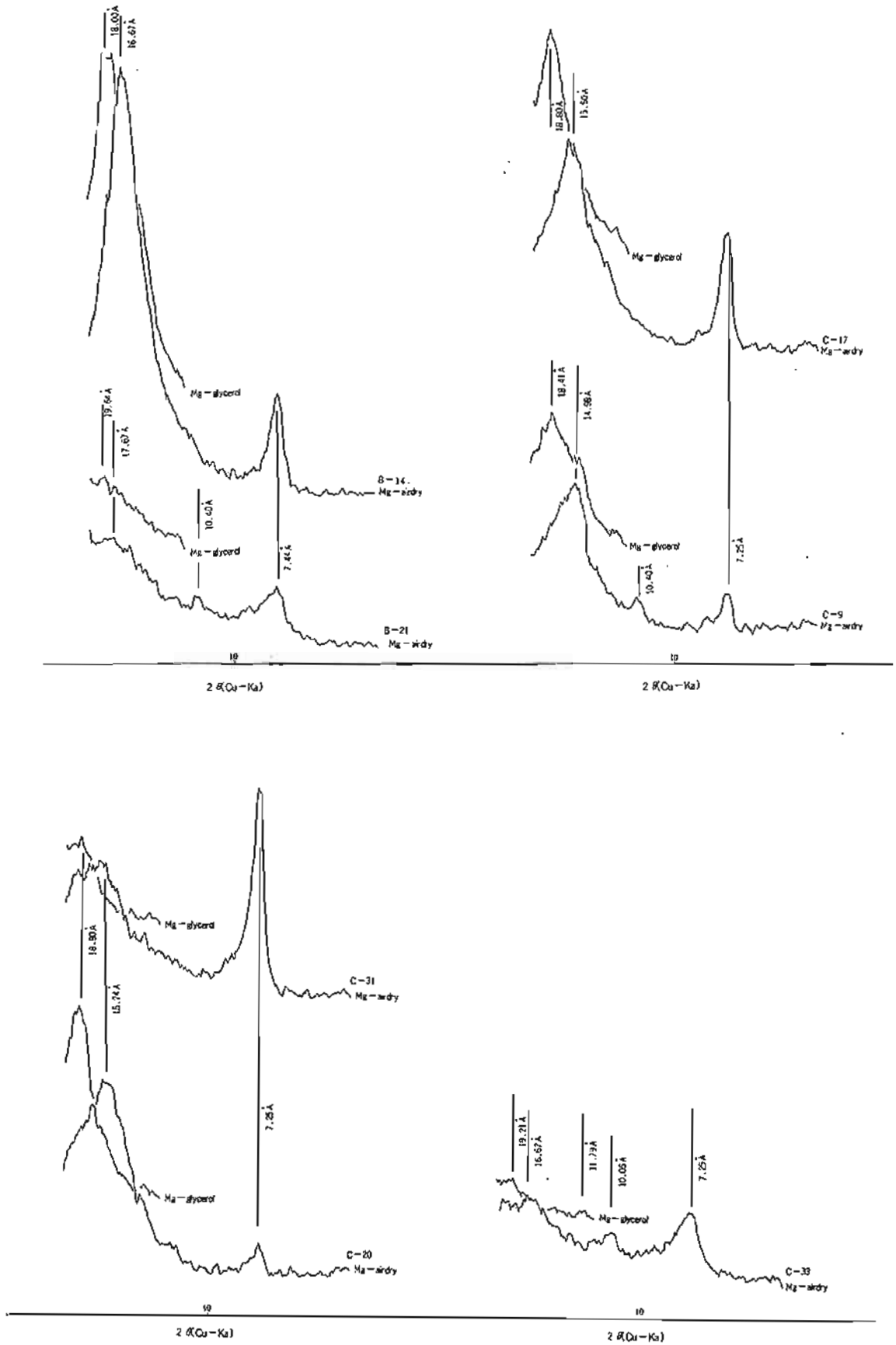


図4-8(2) X線回折図 (その1)

#### 4-4. 地すべり土塊の移動状況

##### (1) 1970年(昭和45年)までの調査から判明した移動特性

この地すべりの土塊移動状況の推移に関しては3章に概況を述べた通りであるが、ここではまず従来の調査から判明したその特徴をまとめてみたい。

##### ① 移動方向

前述のとおり、この地すべり地では昭和初期から20年代初期までは、地すべり発生地帯における土塊移動方向が二つに分かれていた。一つは現在と同じ頂上から東南へ向かうもので、他の一つは頂上から山腹地形に順応して東方(宇土沢川上流)へ向かうものである。昔、茶臼山南峰の山腹は宇土沢川へ急傾斜で下っていたから、地形的にみると宇土沢川への滑動は当然の現象である。しかし、同時に地形的には考え難い緩傾斜の東南方向への滑動があり、地すべりの発展とともにこれが主流になり、宇土沢川への滑動が止まってしまったという所に大きな特徴がある。

##### ② 滑動の周期性

頂上から東南へ向かう滑動は昭和初期から活発になったが、この運動には激化する時期と比較的安定化する時期が交互にあらわれている。すなわち、活動の活発な時期が1930~1940年(昭和5~15年)頃、1945~1960年(昭和20~35年)頃にみられ、さらに1965~1967年(昭和40~41年)の間にも前2者ほどではないが、やや活発化する傾向がみられた。

##### ③ 活動の活発な時期と緩慢な時期における移動状況の差違

活動の活発な時期と緩慢な時期を比較すると次のような差違がある。すなわち、活動の活発な時期には攪乱帯中央部の不動島の上方で土砂が一たん蓄積され、不動島が土砂の中に埋没するような様相を呈し、その平衡が破れて活動が活発化すると、移動速度の大きい範囲が漸次上方に拡大する。この運動は福岡正己氏によって詳しく調査され、ぜん動運動とよばれたものである。このような動きがあるため場所によって速度が増加する時期がずれ、季節的変動も一定しなかった。これに対し、活動が緩慢化した時期には全地域が融雪・降雨等の影響を受けて一率に速度変化を起こすようになる。

##### ④ 地区による移動速度の差違

1959年(昭和34年)以後の観測結果からみると、移動速度は攪乱帯付近でもっとも大きく、C-C測線の移動量は地すべり発生地帯の2倍に達することが多かった。地すべり発生地帯では1964年(昭和39年)頃までは上部も中間部もほぼ同一の移動量を示し、大きなマスとして一体となって移動していた。ところが、その後1965年(昭和40年)頃から地すべり発生地帯でもブロック化の傾向が見られるようになり、下部のスピードが上部より大きくなっている。地すべり発生地帯のブロックは大きくみて図4-9の5ブロックに分かれるが1965(昭和40年)年以後はIIIブロックとIVブロックの分離、およびこの2ブロックの右岸側の速度低下が次第にあらわれてきた。



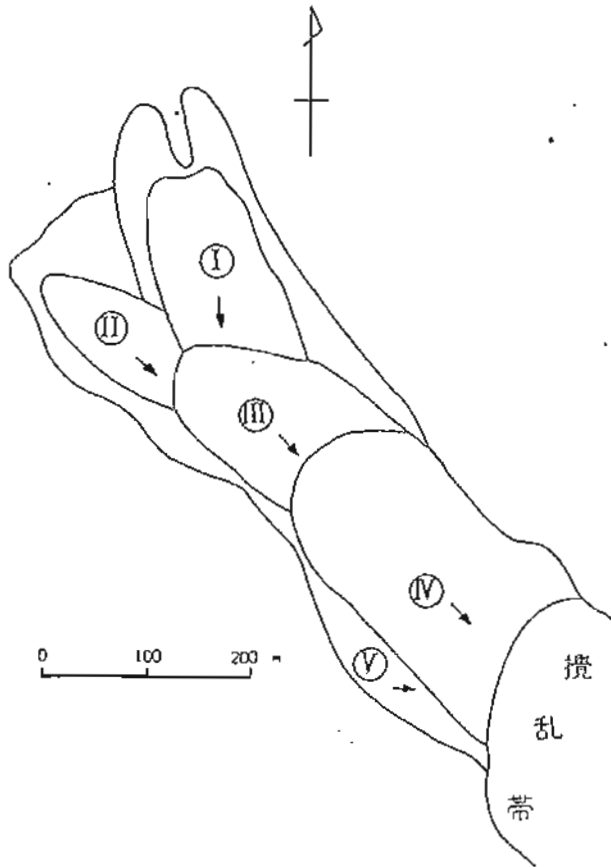


図4-9 地すべり発生地帯ブロック分け図

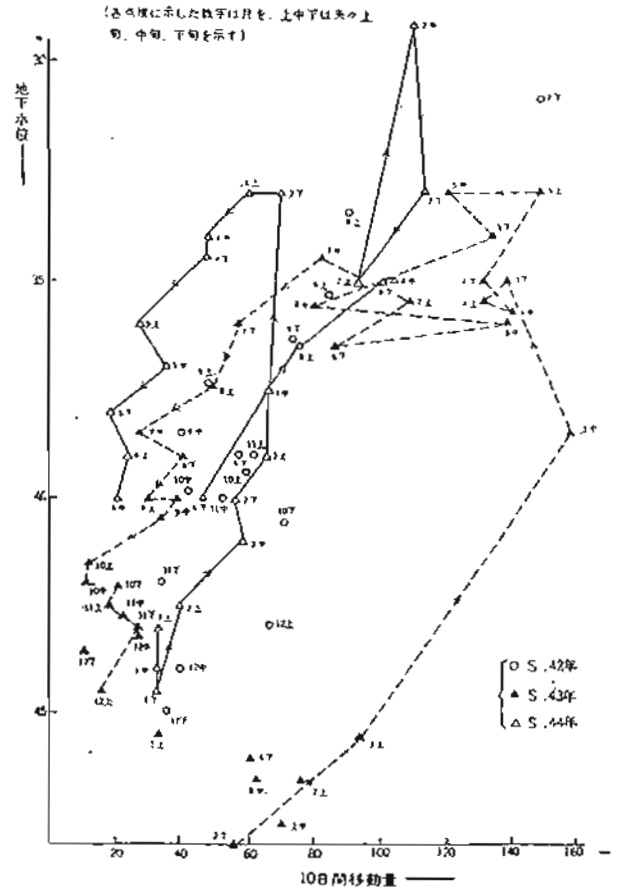


図4-10 A-A測線移動量～1号地下水井水位関連図

### ⑤ 地下水位と移動量の関係

地下水位と移動量の関係は1965年(昭和40年)以後検討されてきたが、非常に密接な相関性を示している。全般に地下水位の上昇にともなって移動速度も大きくなる傾向が認められる。ただし、地下水位は降雨・融雪の影響を受けて著しい変動を示す地区と変動幅の小さい地区に分かれ、面積的には後者が広域を占めている。

そして、移動速度は後者の水位とより高い相関性をもっている。しかし、同一水位に対応する移動速度にはかなりの幅があり、また水位上昇期と下降期でも差違がある(図4-10)。

### ⑥ 降水量と移動量の関係

1965年(昭和40年)以後の資料から降水量と移動量の関係を見ると両者は密接な相関性を示し、降雨は10～30日のおくれをもって移動量に影響している。また、一時的な降雨よりも長期にわたる雨の影響度が強い。また、融雪期は降雨と移動量の相関性が低いという状況がみられる。

図4-11は地すべり発生地帯の移動量を代表するものとしてA-A測線の移動量を累積と山麓の岡田部落で観測された降水量の累積を対照させたものである。これからわかるように移動量の累積速度は大きくなる時と小さくなる時があり、これにやや先行して降水量の累積速度も変化している。両者の変化日を比較すると降水量の変化日が移動量のそれに20～30日先行しているのがわかる。

⑦ 松代群発地震の影響

3章で松代群発地震の影響についての考察を記述したが、図 4-11 をみてもこの時期の移動量の変化がどのようなものであるかわかる。

図 4-11 は移動量がほぼ同速度で累積されている期間をいくつか区切ってあるが、この各期間の平均速度を算出し、これとほぼ対応するとみられる期間の降水量を平均月降水量で算出してみた(表 4-7・図 4-12)。

これを見ると次のことがわかる。

- ・ 全体的に移動量が減少していた 1963~1964 年(昭和 38~39 年)には、少雨期の移動量が ①・③で、多雨期の移動量が ②・④ で示され、いずれも ①→③、②→④ の変化は図 4-12 の右下方へずれる。すなわち、平均月移動量は降水量と相関をもちながらも少雨期・多雨期とも減少する傾向をみせている。
- ・ しかし、1965 年(昭和 40 年)のはじめ以後は少雨期の移動量 ⑤・⑦、多雨期の移動量 ⑥ がいずれも 1964 年(昭和 39 年)の移動量より大きくなり、移動量の増加傾向があらわれた。⑤ の時期は降水量が ③ の時期より小さくなっているのに、移動量は逆に増大している。この傾向が 1965 年(昭和 40 年)の初めからみられることは、松代群発地震の発生に先行して移動量の増大傾向が出たことを示すものである。
- ・ ⑧(1966 年[昭和 41 年] 3 月~7 月)~⑩(1967 年[昭和 42 年] 3 月~5 月)の時期は少雨期・多雨期とも移動が活発であるが、この時群発地震も最盛期になっている。この一致も注目される。
- ・ ⑬の時期から以後は変動の鎮静化が顕著で、それまでには認められなかった状況になっている。また、群発地震の発生状況も鎮静化の傾向をみせている。

以上の移動状況の細部資料を検討すると、茶臼山地すべりの移動速度の大きな変動傾向は、松代群発地震の発生とは無関係に発生しており、松代群発地震の影響を受けて生じてきたものとは言えないことがわかる。しかし、移動がもっとも活発だった時期と群発地震がもっとも活発だった時期、および松代地区で地下水湧出が著しかった時期とはほぼ一致しており、地震動の累積に伴う何らかの影響があったことは推定できる。

表4-7 平均月移動量、月降水量対照表

図 面 対象番号	期 間	月移動量 (m)	月降水量 (mm)	備 考
1	S.38. 1~S.38. 5	0.59	42	
2	S.38. 5~S.38. 9	0.90	120	
3	S.38. 9~S.39. 7	0.32	52	
4	S.39. 7~S.39.12	0.65	138	
5	S.39.12~S.40. 6	0.36	32	
6	S.40. 6~S.40. 9	0.94	154	松代群発地震 S.40.11 第1活動期
7	S.40.10~S.41. 2	0.46	58	
8	S.41. 3~S.41. 7	1.23	110	S.41. 3~4 第2活動期
9	S.41. 7~S.41. 9	0.65	66	S.41. 8~9 第3活動期
10	S.41. 9~S.41.11	1.68	110	
11	S.41.11~S.42. 2	0.56	42	S.42. 2 第4活動期
12	S.42. 3~S.42. 6	1.30	90	
13	S.42. 5~S.42. 9	0.31	80	
14	S.42. 9~S.43. 3	0.18	46	
15	S.43. 3~S.43. 7	0.40	70	
16	S.43. 7~S.44. 1	0.07	54	
17	S.44. 1~S.44. 6	0.10	46	
18	S.44. 7~S.44.11	0.28	190	
19	S.44.11~S.45. 3	0.04	42	

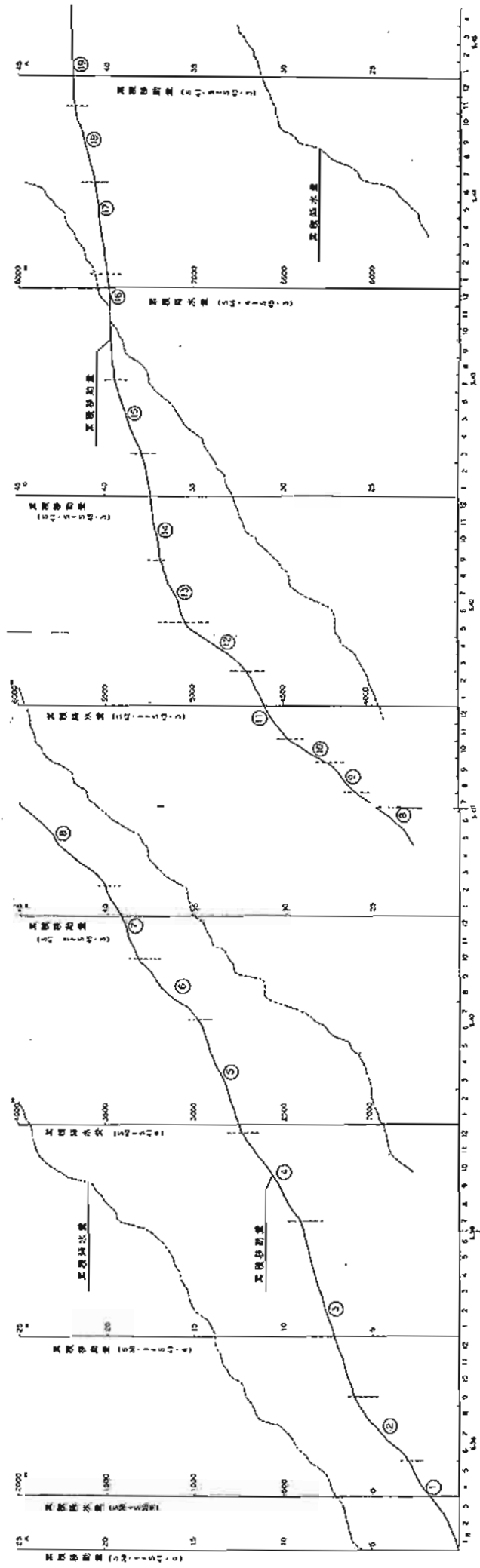


图4-11 累积移动量~降水量对照图 1963~1970年 (昭和38年~45年)

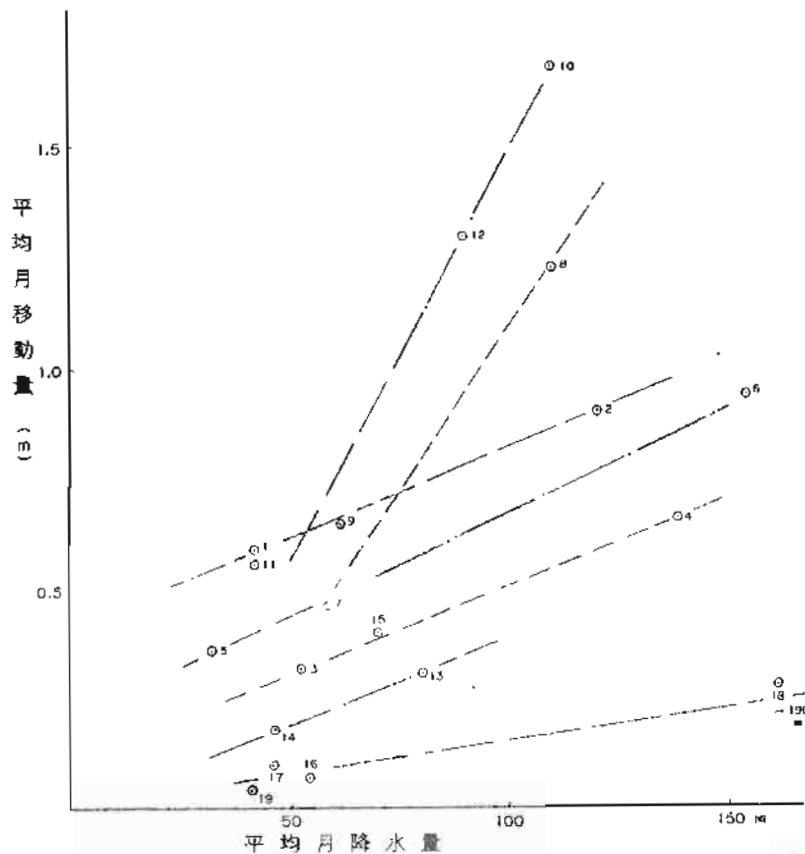


図4-12 平均月移動量～平均月降水量相関図

## (2) 近年の移動状況

この地すべり地では前述のように 1958 年（昭和 33 年）から継続して今日まで移動量観測をつづけてきたが、その資料から近年の移動状況を検討する。

### ① 総移動量の変化

表 4-8 はこの地すべり地で行われてきた 6～7 測線の移動量をまとめたものであるが、これを見ると 1958～1964 年（昭和 33～39 年）にかけては移動量が年と共に減少している。ところが、1965～1966 年（昭和 40～41 年）は急増して一つのピークをなし、その後再び急減している。1970 年（昭和 45 年）にはそれまでに比較して非常に安定化した状態になった。1971 年（昭和 46 年）にはやや復活したが、その後さらに減少して 1973 年（昭和 48 年）以後の移動量は極めて小さなものとなっている（図 4-13(1)・(2)）。

このような、地すべりの安定化がどの区域から始まっているかを検討するため、各測線の移動板毎の年間移動量を比較してみると表 4-10 のようになる。年間移動量 10cm 以下の区域は、視覚的には地盤変動がほとんどない地区とみられるため、一応、年間移動量 10cm 以下の区域を安定化した区域とみて、その順を追ってみると次のようになる。

a) 最も早く安定化したのは、二次的すべり地帯の Y-Y 測線である。1970 年（昭和 45 年）中の総移動量は 7cm であり、その後も動きが復活する傾向はほとんど見られない。上方の C-C 測線周辺でなお移動量が継続してあらわれているのに、Y-Y 測線で移動が止まっていることは、C-C 測線周辺からの押しがそれほど強くないことを示唆している。不動島周辺で実施したボーリング調査では、地表の変形がもっとも著しい不動島の南方で滑動土塊の深度が 2～3m であった。このことから、攪乱帯の変動がかなり浅層部の変動となっており、C-C 測線の全体についてもそのような傾向に変わっている可能性が考えられた。

表 4-8 茶臼山各測線年間移動量

年間移動量 (m)	昭和年													
	測線	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
	A-A	25.90	19.73	13.69	13.81	7.00	5.30	6.61	11.80	6.25	2.49	1.94	0.38	0.48
	B-B	24.00	23.27	11.68	15.00	7.55	5.10	6.81	14.34	7.61	3.34	2.85	0.65	0.72
	C-C				29.00	11.63	10.83	14.58	28.08	13.50	5.80	6.97	1.25	1.32
	Y-Y	26.74	19.96	16.36	12.16	2.39	0.57	4.77	17.37	12.88	4.74	0.96	0.07	0.07
	Z-Z	24.50	18.30	9.65	9.29	2.85	2.15	5.10	15.52	12.25	5.87	2.31	1.09	0.74
	平均	25.29	20.32	12.85	15.85	6.28	4.79	7.57	17.42	10.50	4.45	3.00	0.68	0.67
	年間降水量	1086.9	852.4	1091.6	727.4	873.1	1050.7	1067.9	952.1	813.3	763.0	1085.5		1073.4

年間移動量 (m)	昭和年													
	測線	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
	D-D	0.13	0.08	0.10	0.02	0.05	0.02	0.01	0.01	0.03	0.09	0.01	0.05	0.03
	A-A	0.20	0.08	0.04	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01
	B-B	0.36	0.03	0.09	0.07	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
	C-C	0.79	0.12	0.35	0.26	0.20	0.14	0.03	0.02	0.09	0.14	0.03	0.18	0.05
	Y-Y	0.05	0.00	0.01	0.00	0.03	0.02	0.01	0.02	0.04	0.11	0.01	0.06	0.01
	Z-Z	0.90	0.41	0.39	0.81	0.75	0.83	0.08	0.16	0.66	0.96	0.41	0.89	0.63
	平均	0.41	0.12	0.16	0.20	0.19	0.18	0.03	0.04	0.14	0.22	0.08	0.20	0.12
	年間降水量	1006.4	1051.6	1122.4	1008.0	1258.4	795.7	1009.7	1029.7	1152.0	1240.5	1049.3	1440.2	1015.0

年間移動量 (m)	昭和年					平成								
	測線	60	61	62	63	元	2	3	4	5	6	7	8	累計
	D-D	0.07	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.08	0.07	0.09	0.03	0.02	0.02	1.11
	A-A	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	115.97
	B-B	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	123.70
	C-C	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	125.49
	Y-Y	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	119.54
	Z-Z	0.29	0.10	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	118.02
	平均	0.07	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	
	年間降水量	1317.0	826.4	753.5	1166.8	1266.4	1008.4	1388.4	1094.4	1113.8	672.9	1106.3	999.8	

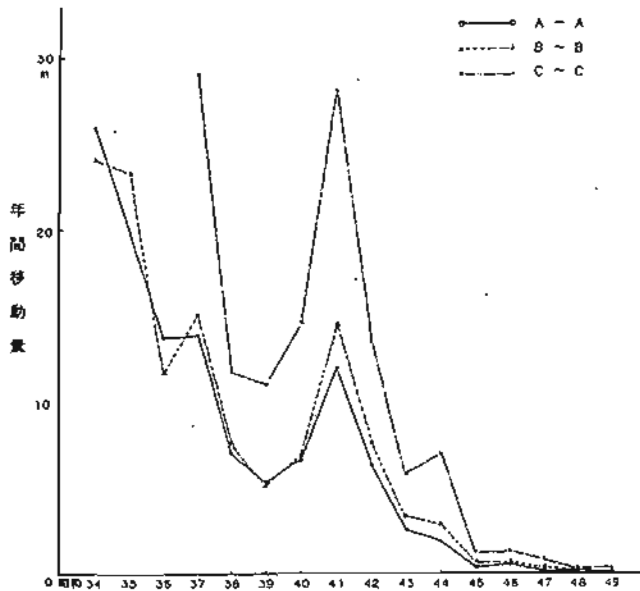


図 4-13(1) 年間移動量推移図 (各測線平均)  
1959~1974 年 (昭和 34~49 年)

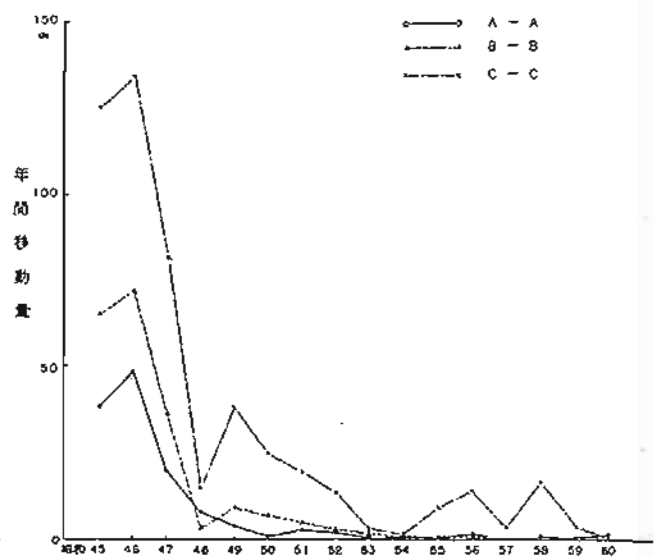


図 4-13(2) 年間移動量推移図 (各測線平均)  
1970~1985 年 (昭和 45~60 年)

- b) 次に安定化したのは三角山の南方 (D-D 測線 No. 6・7) である。ここでは、南西方の滑落崖からの土砂供給が全くなり、地すべり土塊量が減少して次第に安定化した。対策工事としては、三角山西南側から来る地表水を地すべり土塊内へ導入しないように開渠工を施工しただけなので、安定化は特定の工事効果によるものではなく、滑動土塊量の減少による自然安定とみられる。
- c) その後安定化した地区は A-A・E-E 測線付近、および B-B 測線の右岸側 (移動板 No. 5~8) の地区である。ここでは、1973 年 (昭和 48 年) 以後の安定化が特に目立っている。1973 年 (昭和 48 年) には 7 月・8 月の干ばつ後地すべり地全体に移動量の減少をみたが、その後 1974 年 (昭和 49 年) にはほとんどの地区でまた移動が復活している。これに対し、A-A 測線と E-E 測線の右岸側ではその復活がみられず、1974 年・1975 年 (昭和 49・50 年) と引き続いて減少しており、安定化が進んでいることがわかる。これは後述する排水トンネルなどによる工事効果があらわれてきたものと見られる。

② 各測線の移動状況の特徴

1971年（昭和46年）以後の5年間、地すべり発生地帯に設置された各測線における移動状況の特徴を見るため、10日間毎に得られた各測線の各移動板の平均移動量と降水量・地下水位変化を対照したものが図4-14である。地下水位としては対策工事による揚水の影響を受けて変則的な変動をおこしているものをのぞき、揚水施設の影響がほとんど及んでいない地区の代表としてボーリング43-19の水位を、また揚水施設の影響が若干みられるが降水・融雪の影響もでており、従来の調査からその水位が移動量の増減と密接な関係があると判断されているものとして1号地下水井の水位をとってある。

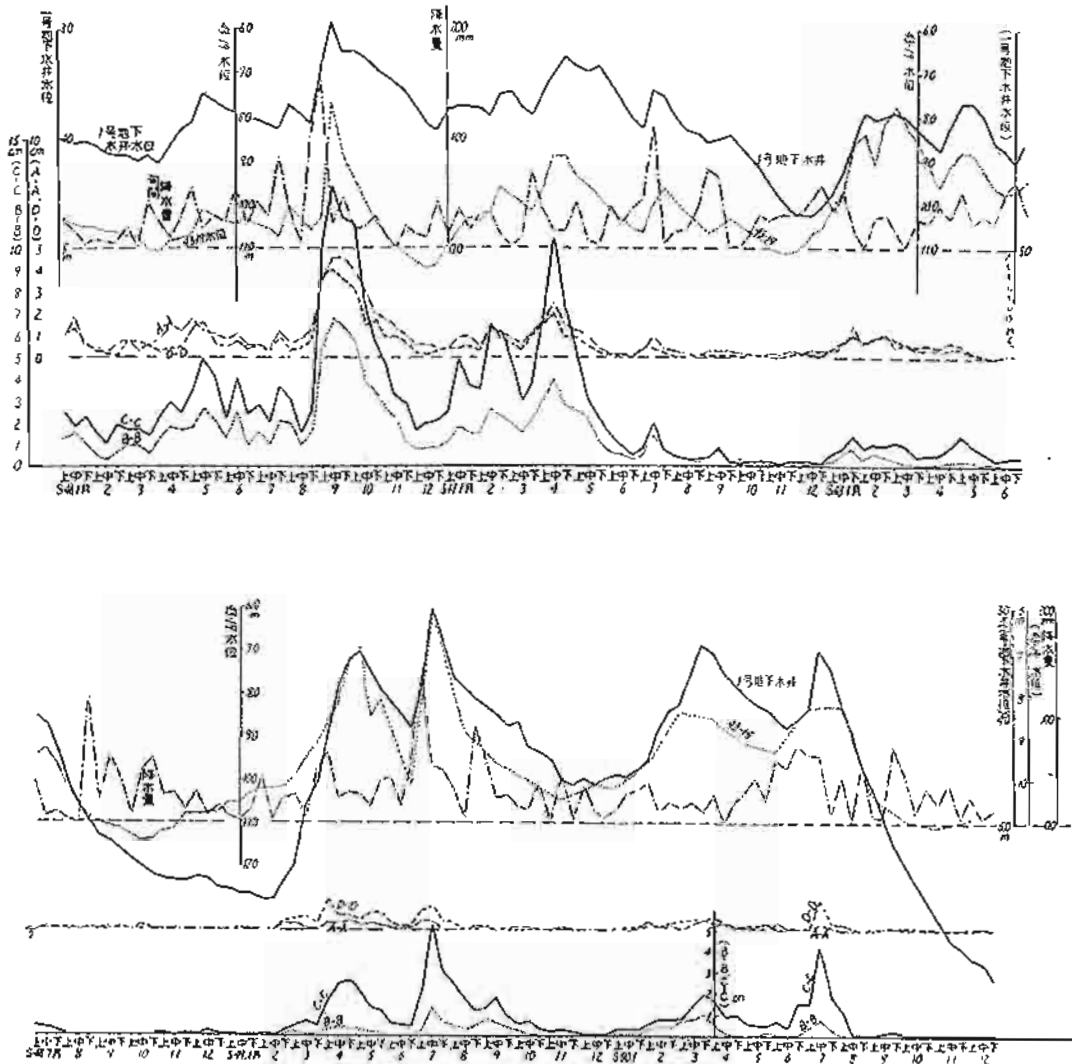


図4-14 移動量・地下水位・降水量対照図 1971～1975年（昭和46～50年）

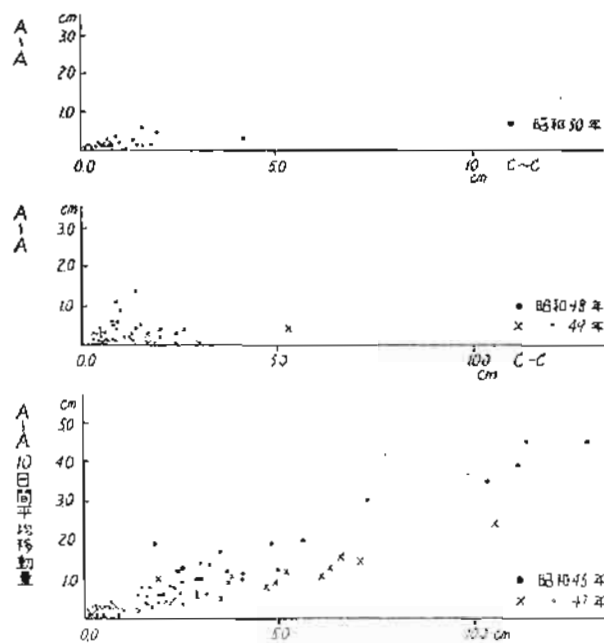


図 4-15 C-C、A-A測線移動量比較図

これからわかるように、各測線とも時期的（季節的）には全く一致した動きを示しており、特定測線のみが動くという傾向は全くみられない。全体的に3月～5月の融雪期、6月～8月の梅雨期に移動をおこしている。

また、1972年（昭和47年）9月以前は、もっとも動きの減少する渇水期でも基底変動量と見られる移動が観測されたが、それ以後は渇水期の移動量は0となることが多くなっている。

各測線の移動量を比較するとC-C測線がやはりもっとも大きく、B-B・D-D測線がこれについている。しかし、C-C測線とA-A測線あるいはB-B測線との移動量の比率は年によってかなり変化している。図4-15はC-C測線とA-A測線の平均移動量を比較したものであるが、1973年（昭和48年）をのぞいては両者がほとんど直線的な相関を示しているのがわかる。C-C測線とA-A測線の移動量比をみると1971年（昭和46年）にもっとも小さく、ほぼ3であるが1972年（昭和47年）にはほぼ4～5、1974～1975年（昭和49～50年）には10を超える値になっている。このことは前述のようにA-A・E-E測線方面でまず安定化がおこり、C-C測線方面の安定化がおくれていることを物語っている。



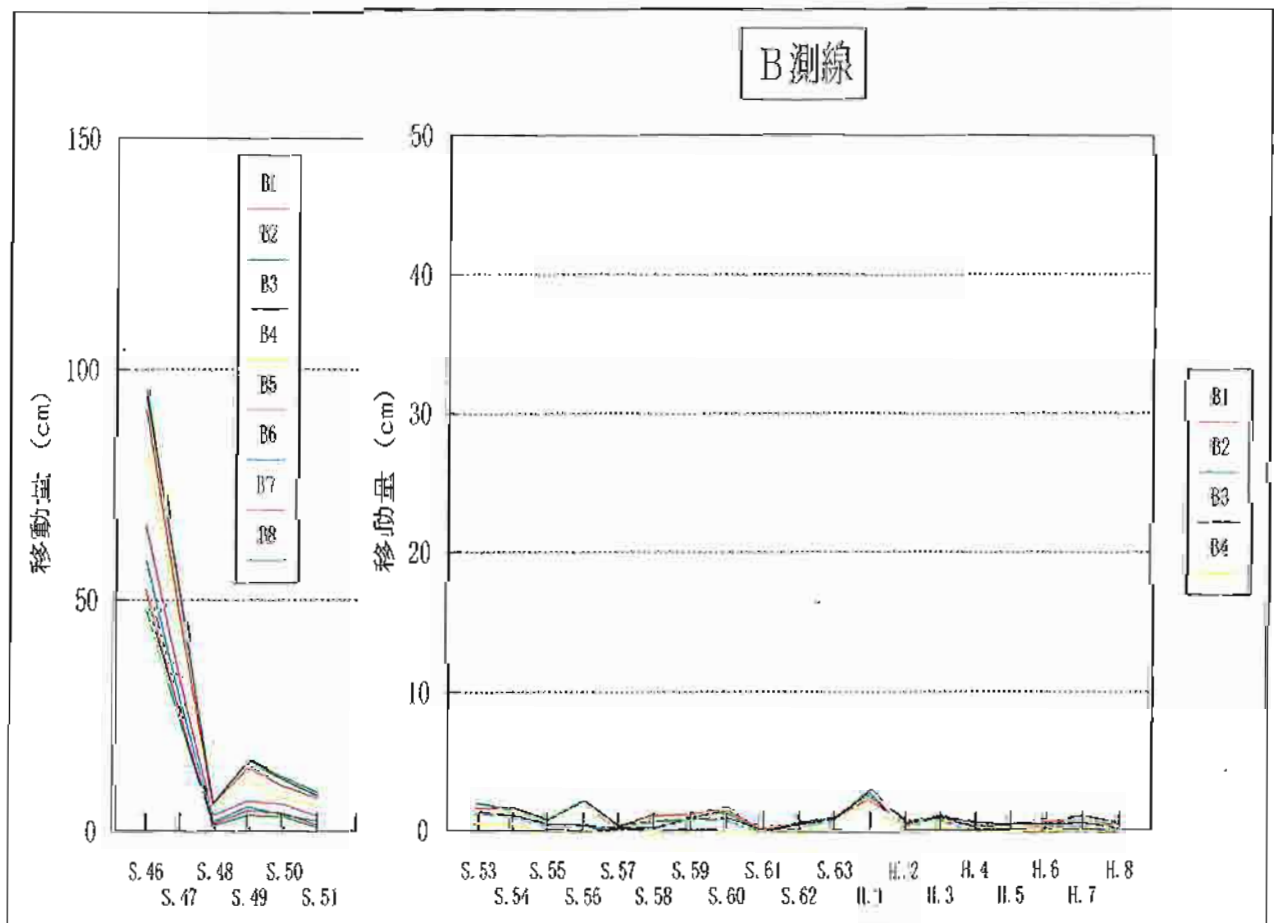
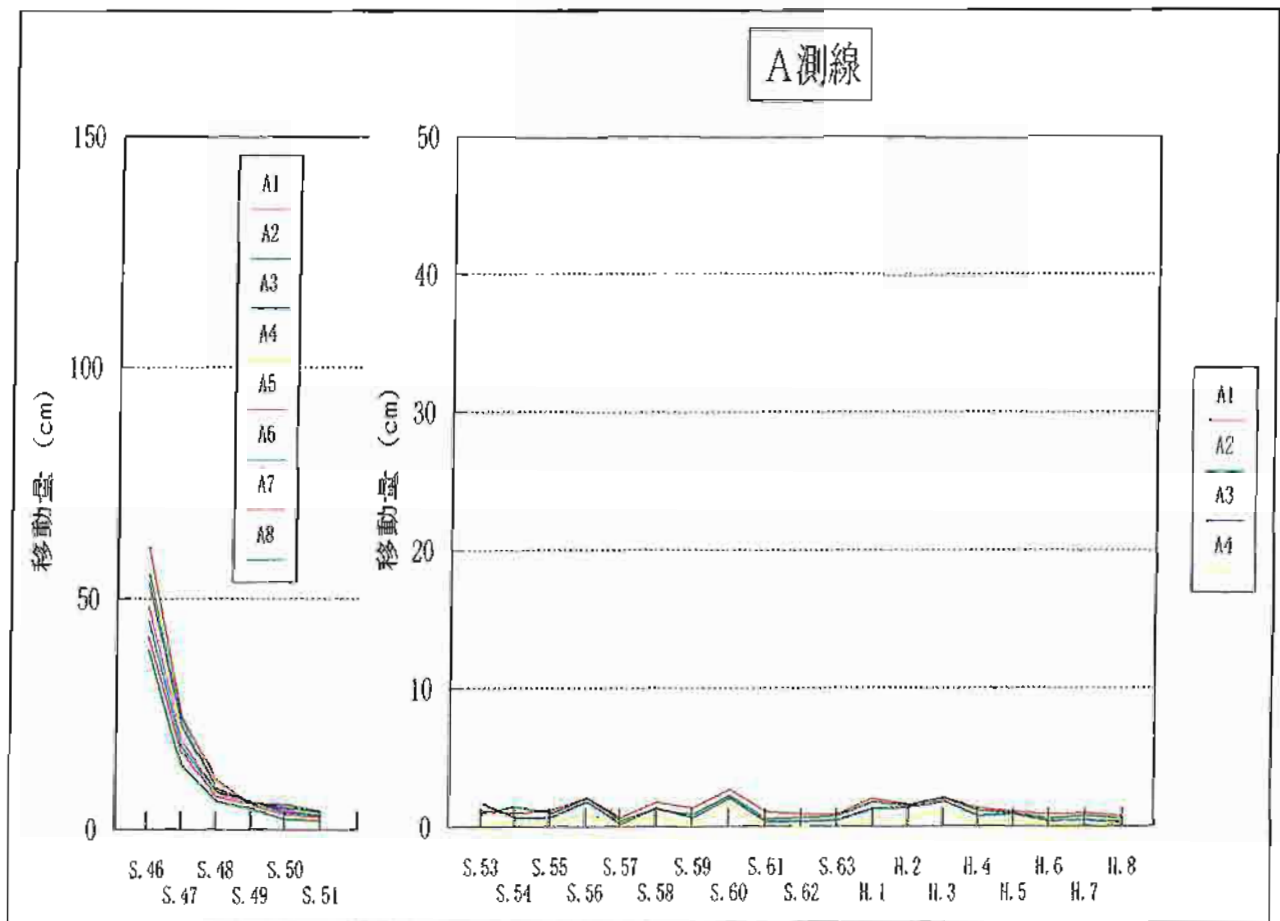
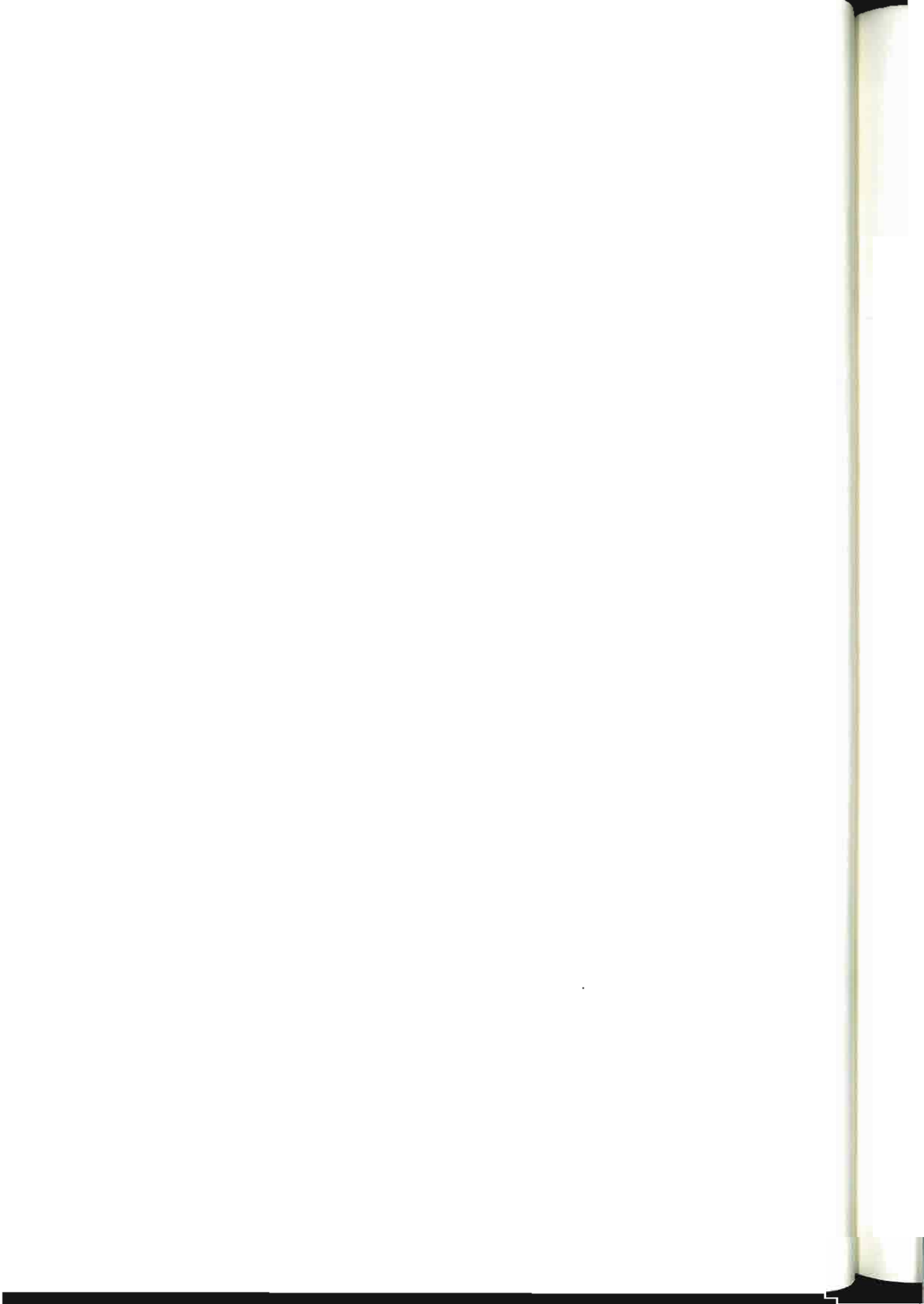


図 4-16(1) 各測点の年間移動量変化 (A・B測線)



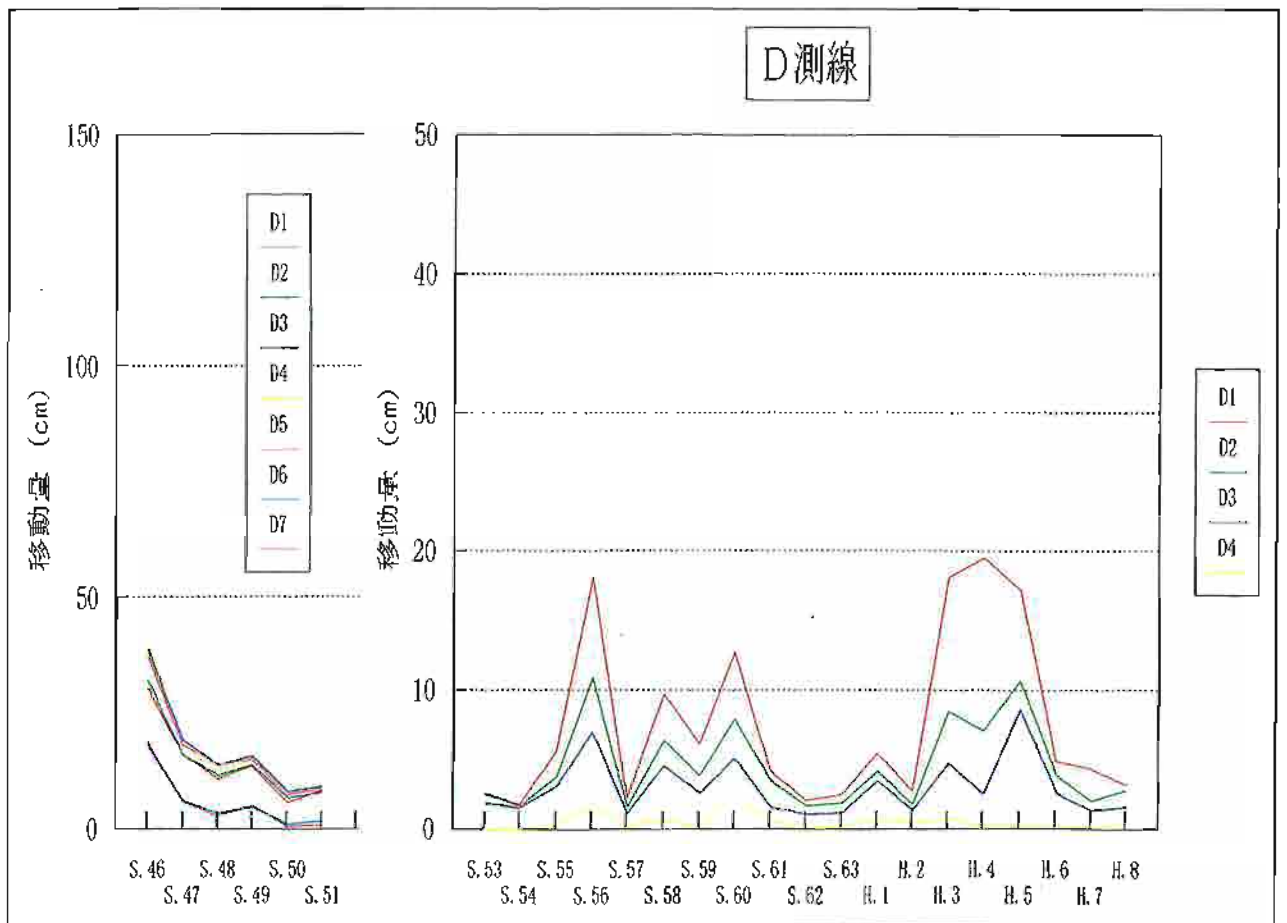
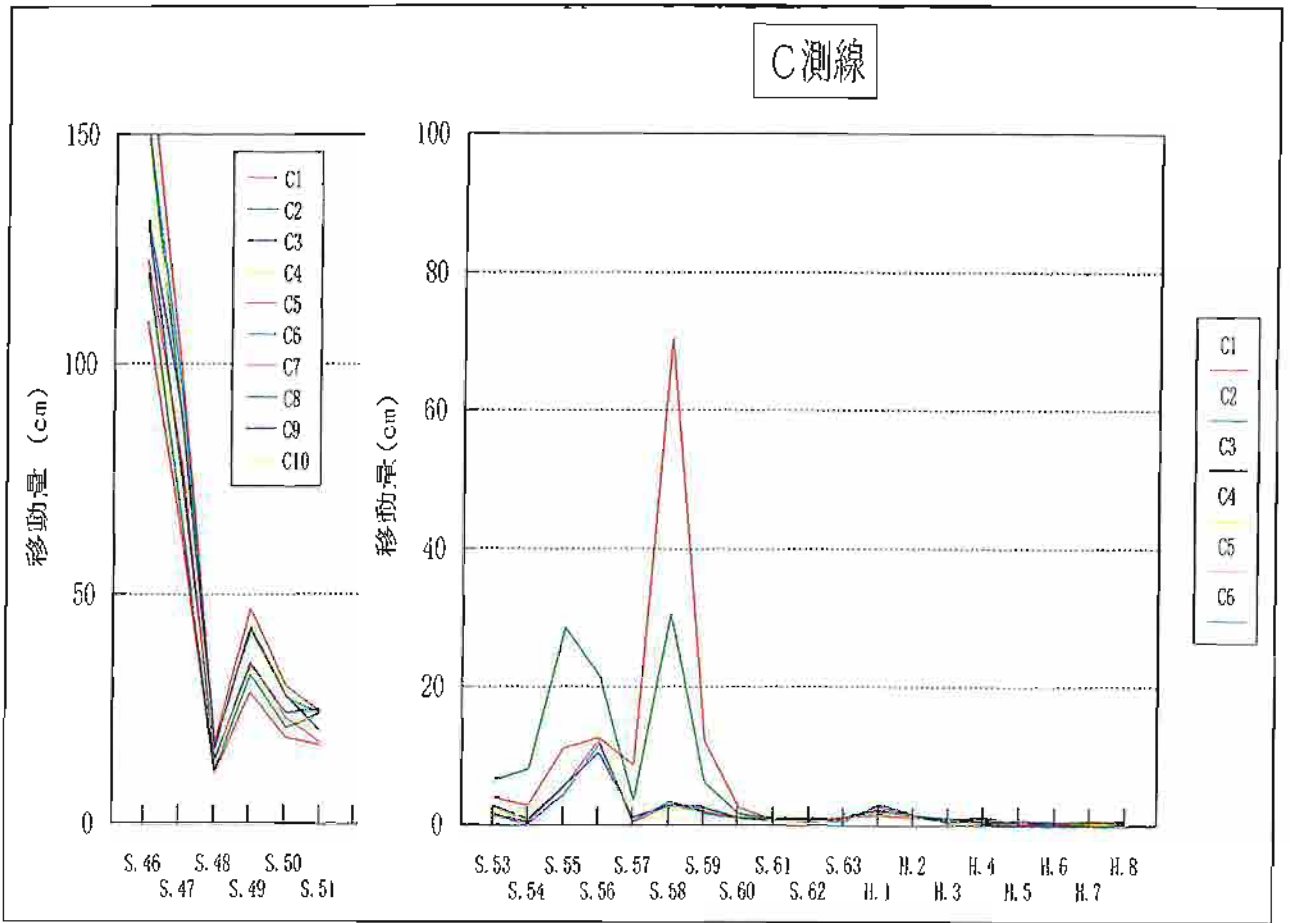
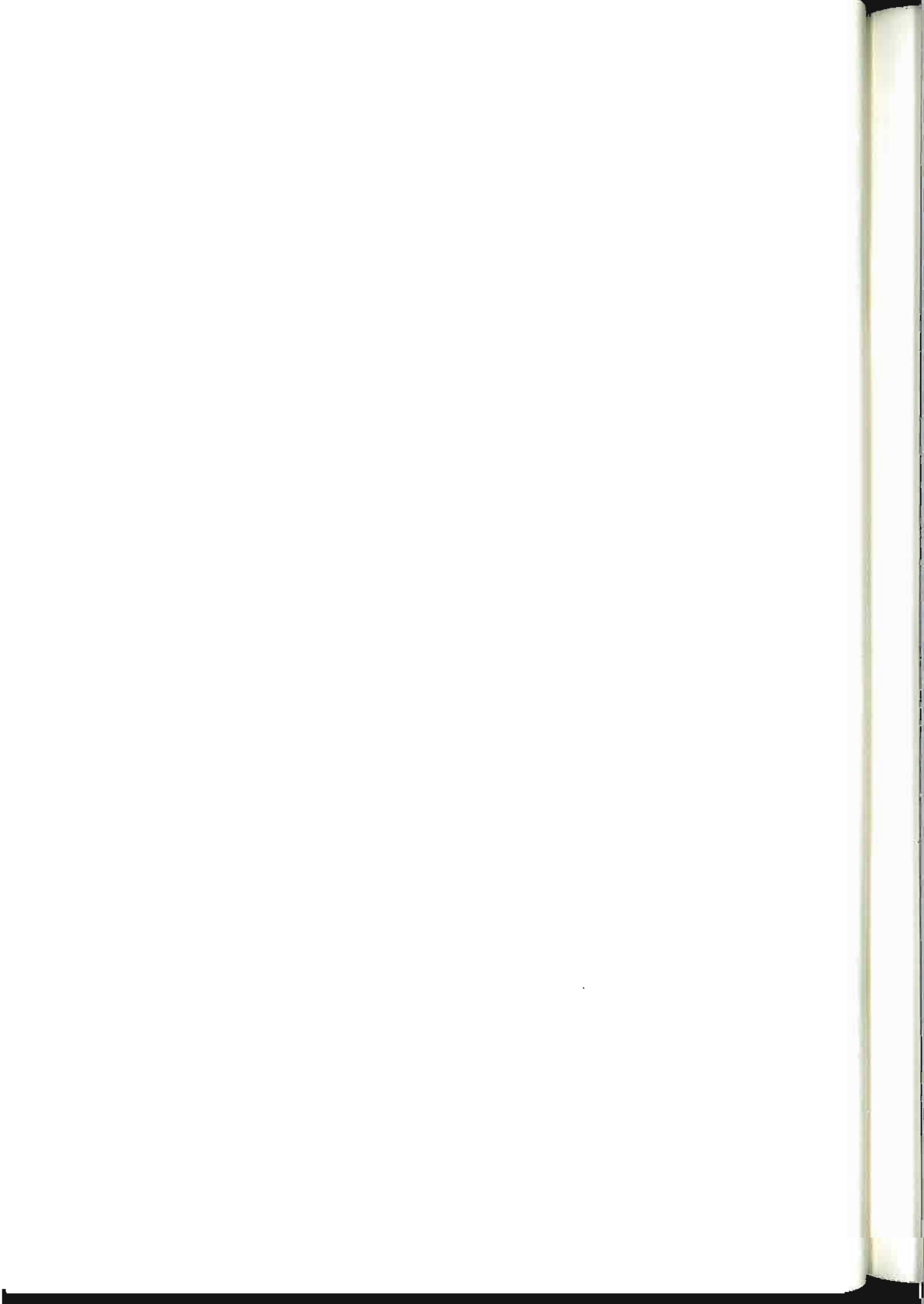


図 4-16(2) 各測点の年間移動量変化 (C・D測線)



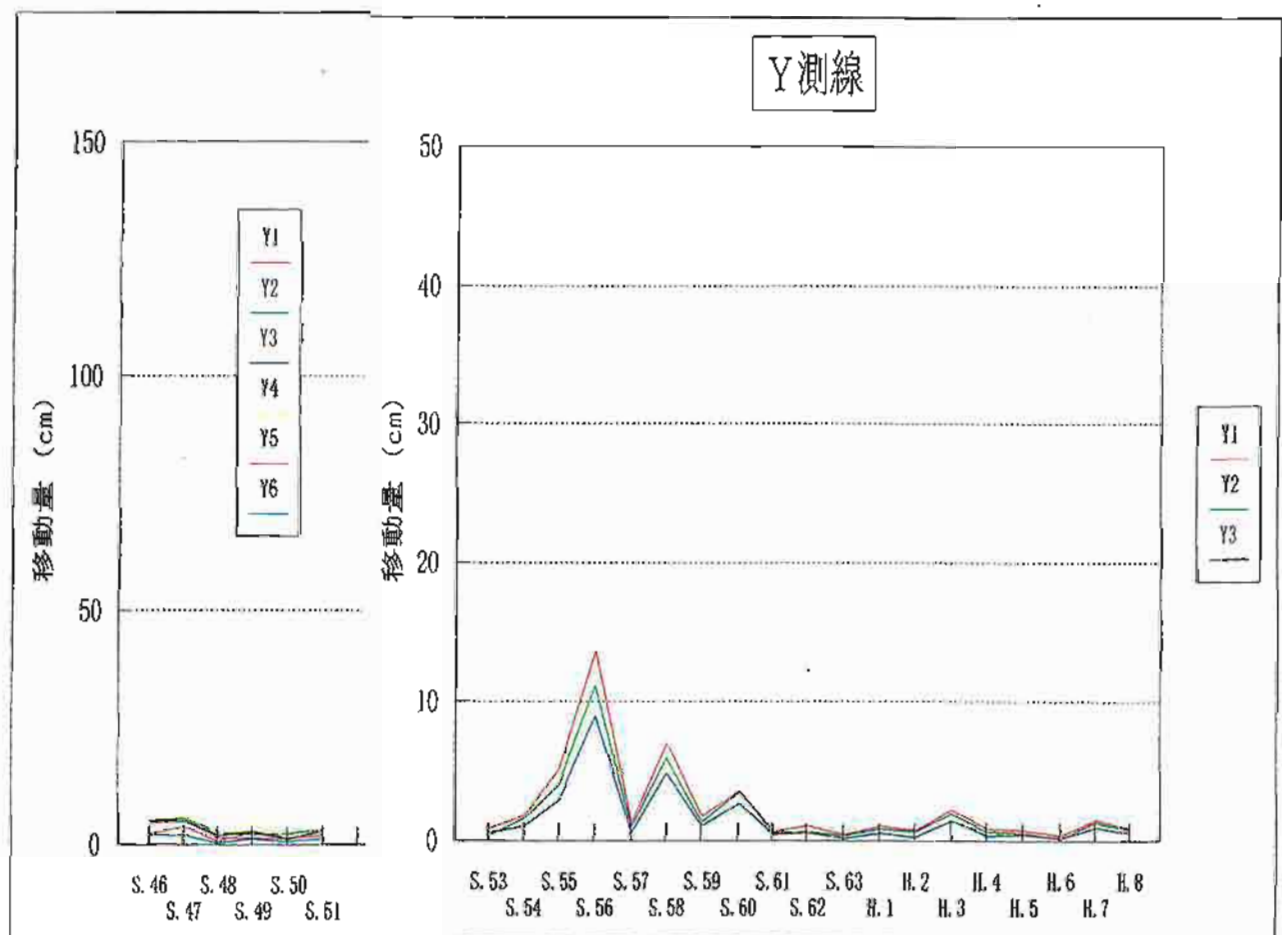
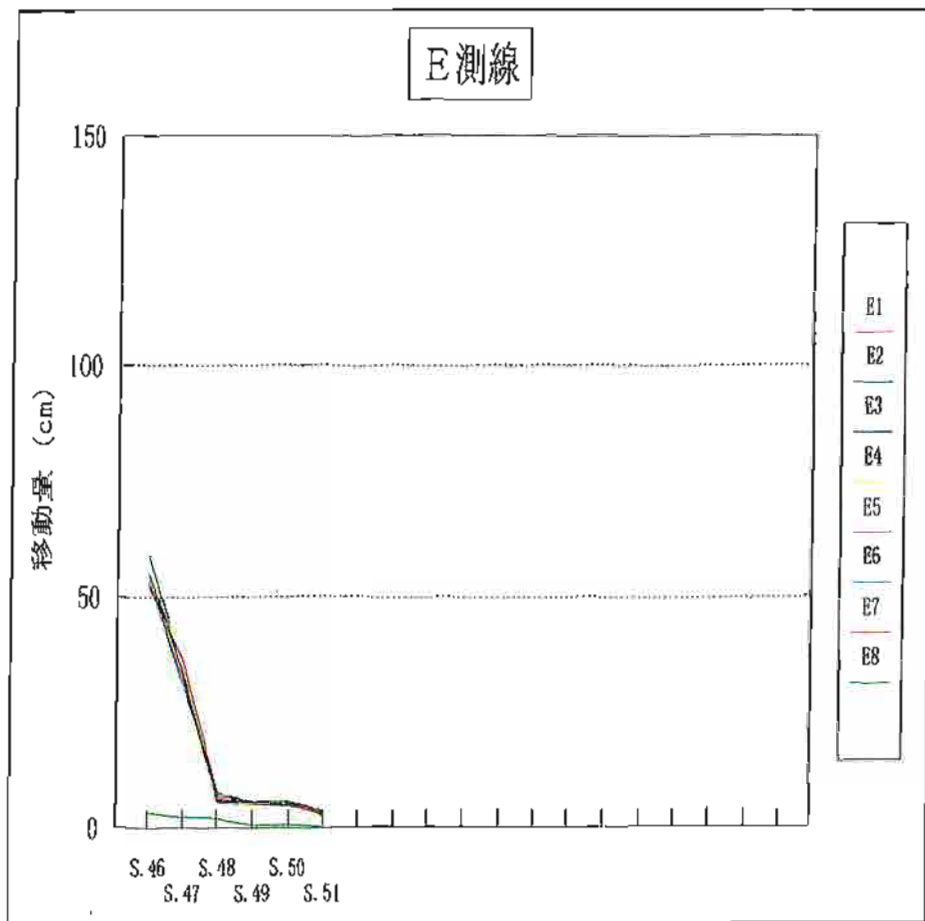


図 4-16(3) 各測点の年間移動量変化 (E・Y測線)



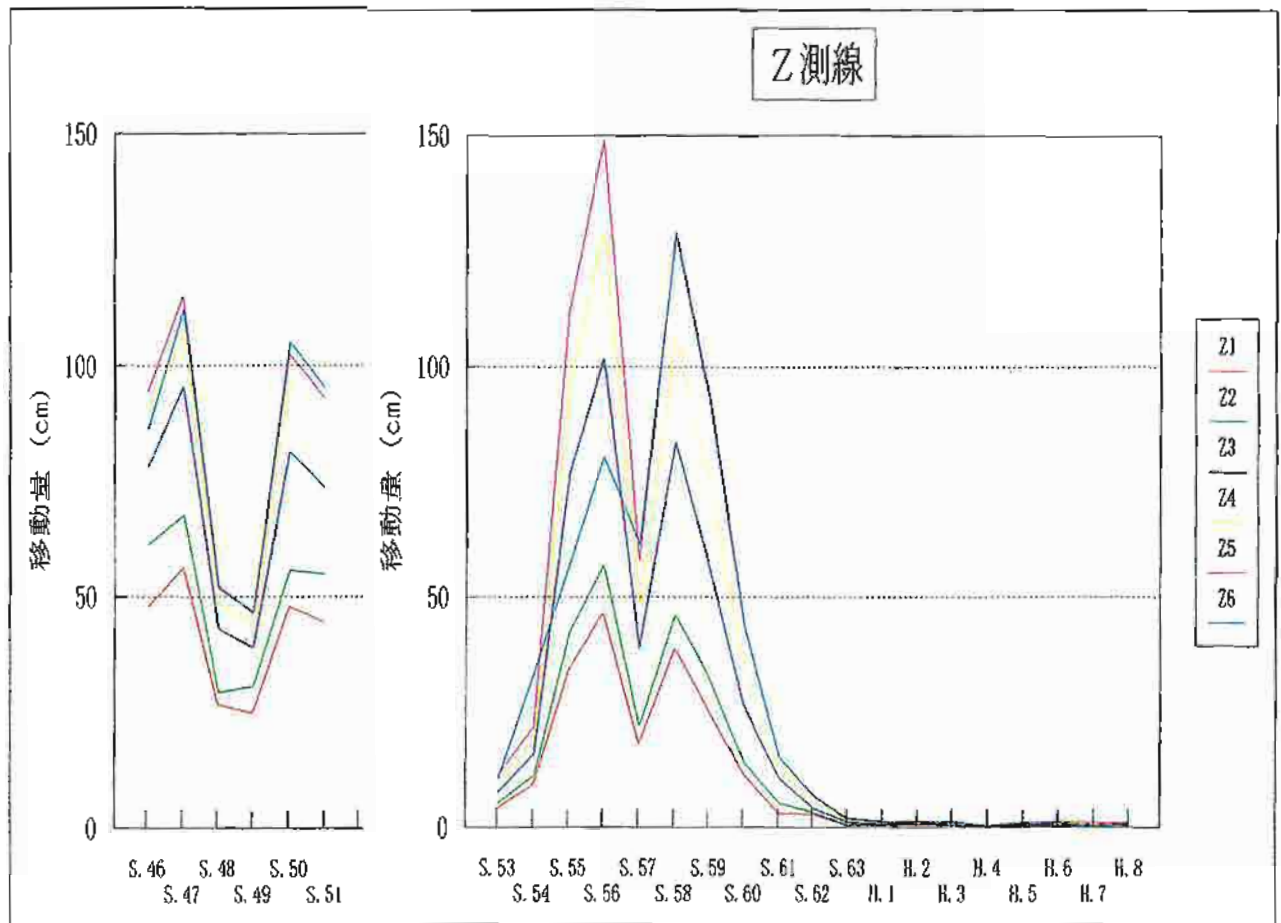


図 4-16(4) 各測点の年間移動量変化 (Z測線)





③ 地下水位と移動量の関係

図 4-15 からわかるように、移動量は 43-19・1号地下水井の地下水位などかなり密接な関係を持ち、地下水位上昇期には一様に移動量の増大が認められる。

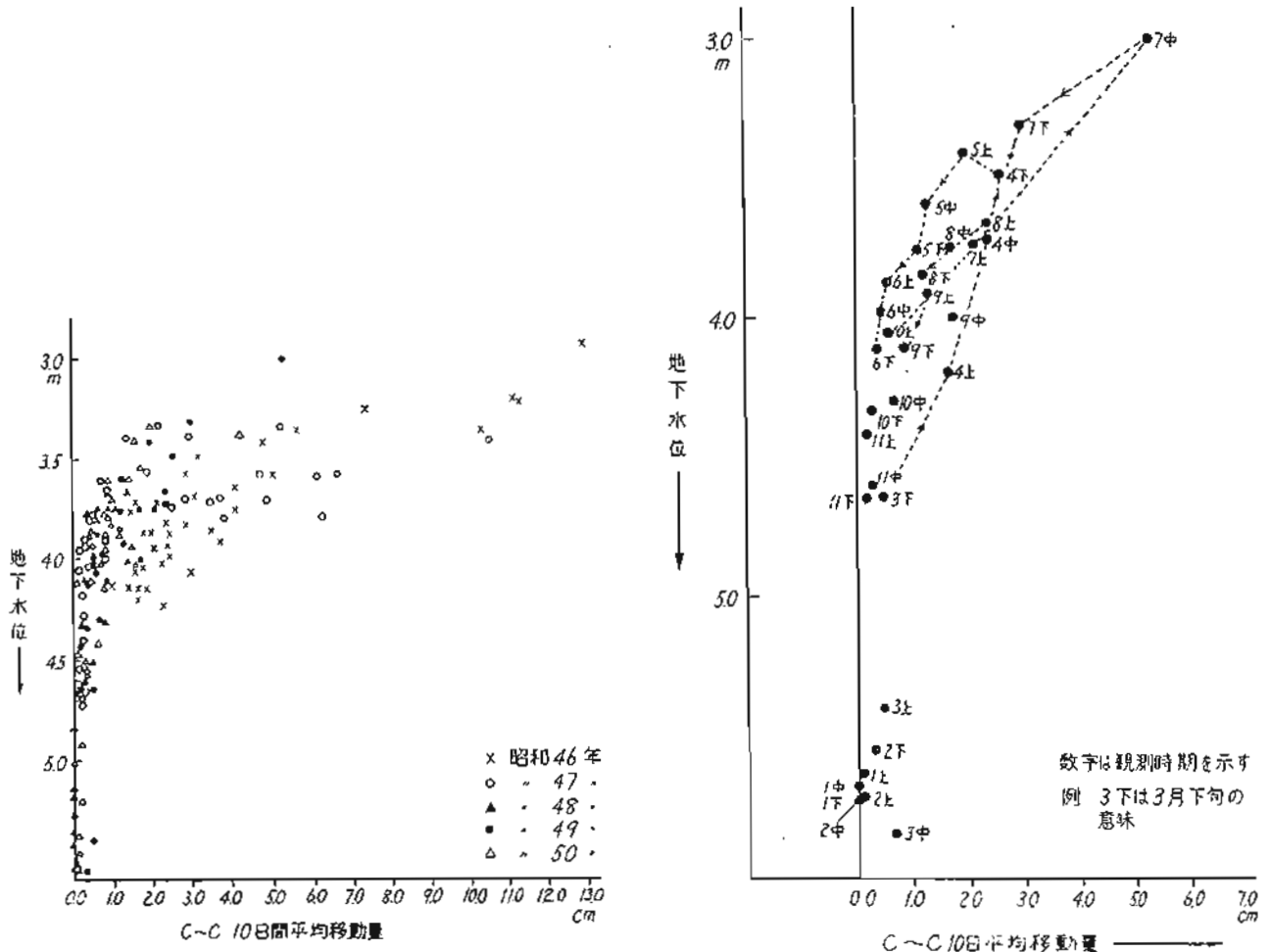


図 4-17(1) 1号地下水井水位～C-C移動量関連図  
1971～1975年（昭和46～50年）

図 4-17(2) 1号地下水井水位～C-C移動量関連図  
1974年（昭和49年）

しかし、全体的に移動量が減少する大きな傾向があるため同一水位に対応する移動量は年によって非常に違っている。図 4-17(1)・(2)は1号地下水井の地下水位とC-C測線の平均移動量の関係を示したものである。これからわかるように1号地下水井の地下水位が4.5m以深になると移動量はほとんど0となり、4.0m以浅になるとにわか活発化する。しかし、4.0m以浅の地下水位に対応する移動量は1971年（昭和46年）・1972年（昭和47年）と1973年（昭和48年）以降で大きな差異を示し、1973年（昭和48年）以後は移動量が小さくなると共に変動幅も小さくなっている。

一方、水位上昇期と下降期に同一水位に対応する移動量を比較すると上昇期の移動量が大きく、下降期は小さい。この傾向は1970年（昭和45年）以前に既に認められていた性質であり、それがなおつづいている。

#### ④ 降雨と移動量の関係

図 4-15 を見ると降水の影響を受けて地下水位変化がおり、これとほとんど一致して移動量変化がおきている。しかし、一定の水位に対応して一定の移動がおきていないことから察せられるように降水量から移動量を推算することは困難である。ここでは、降水量のピークと移動量のピークとのずれがどの程度であるかを検討すると次のとおりである。

C-C測線の 10 日間の平均移動量が 1cm をこえて、一つのピークをなしている時、これに対応しているとみられる降水量がやはりピークをなしていた場合、両者がどれだけ日数的にずれているかを整理してみると表 4-9 のようになる。これから降水は 10~20 日のおくれをもって移動量に影響しているとみられるが時期的には 1 月~4 月、9 月等にこの傾向が強く、6 月・7 月の梅雨期には降雨のピークと移動量のピークが一致し、おくれを示していない場合もかなり見られる。降雨の影響は単純にその時期の降雨量のみでなく、先行する降雨の影響を考慮して検討されなければならないことがわかる。

次に年間移動量と年降水量の関係を見ると、全体的に安定化の著しい近年、両者の相関が密接であることがわかる。ただし、安定化が進むとともに土塊が一体として、大きな地塊状で変動するのではなく、局所的に変動する傾向が著しくなっており、降水量との相関性を検討する際も測線中の変動が大きい移動板を抽出して降水量との関係を見る方がわかりやすくなっている。

図 4-18・4-19 はそのような観点から変動量の大きい D1・C2・Z2・Y1 を取り出して、その年間移動量と年間降水量の関係を示したものである。これからわかるように周辺の状況や、工事の影響が似ている近接年次をみると両者が正の一次相関を示していることがわかる。

表 4-9 移動量ピークの降水量ピークからのずれ (昭和 46~50 年)

発生月	ずれなし	10日おくれ	20日おくれ
1 月	—	1	2
2	—	2	1
3	—	1	2
4	—	—	2
5	1	1	—
6	1	—	1
7	3	1	1
8	—	—	—
9	—	2	1
10~11	—	—	—
計	5	8	10

⑤ 排水工事の影響

土塊の移動量には降水状況などとともに排水工事の影響が出ており、地すべり発生地帯上方部の移動速度の減少に、トンネルや集水井による排水工事の影響が出ていることを前述した。

図4-18・4-19にもこの状況はでている。

図4-18のC2の移動量を見ると1984年(昭和59年)以前と1985年(昭和60年)以降では年間降水量と年間移動量の関係が変化しているのがわかる。C-C測線の下方で2号トンネルの枝線施工、グラベルパイプ工の施工・55-1号集水井・RCセグメント集水井の施工を実施したのは1980~1983年(昭和55~58年)であり、これらの効果が1985年(昭和60年)以後出てきたとみるのが妥当である。

一方、全体に安定化の傾向がみられてからは局所変動が残った。末端部のZ-Z測線付近で特にこれが目立った。そこで、1984年(昭和59年)以後この方面を主体に集水井による排水工事が集中的に実施された。Z-Z測線とY-Y測線の代表測点(Z2・Y1)の年間移動量と年降水量の相関を示したものが図4-19であるが、これを見ると1978~1982年(昭和53~57年)に両測線とも一定の相関性が認められるが、1983年(昭和58年)・1985年(昭和60年)・1988年(昭和63年)と段階をふんで移動量の減少があらわれたことがわかる。1983(昭和58年)・1985年(昭和60年)の減少は不動島上方方面の排水施設の効果が出たに及んだとみるのが妥当であり、1988年(昭和63年)以後の安定化はZ-Z測線方面の排水施設の効果であらわれたとみるのが妥当であろう。

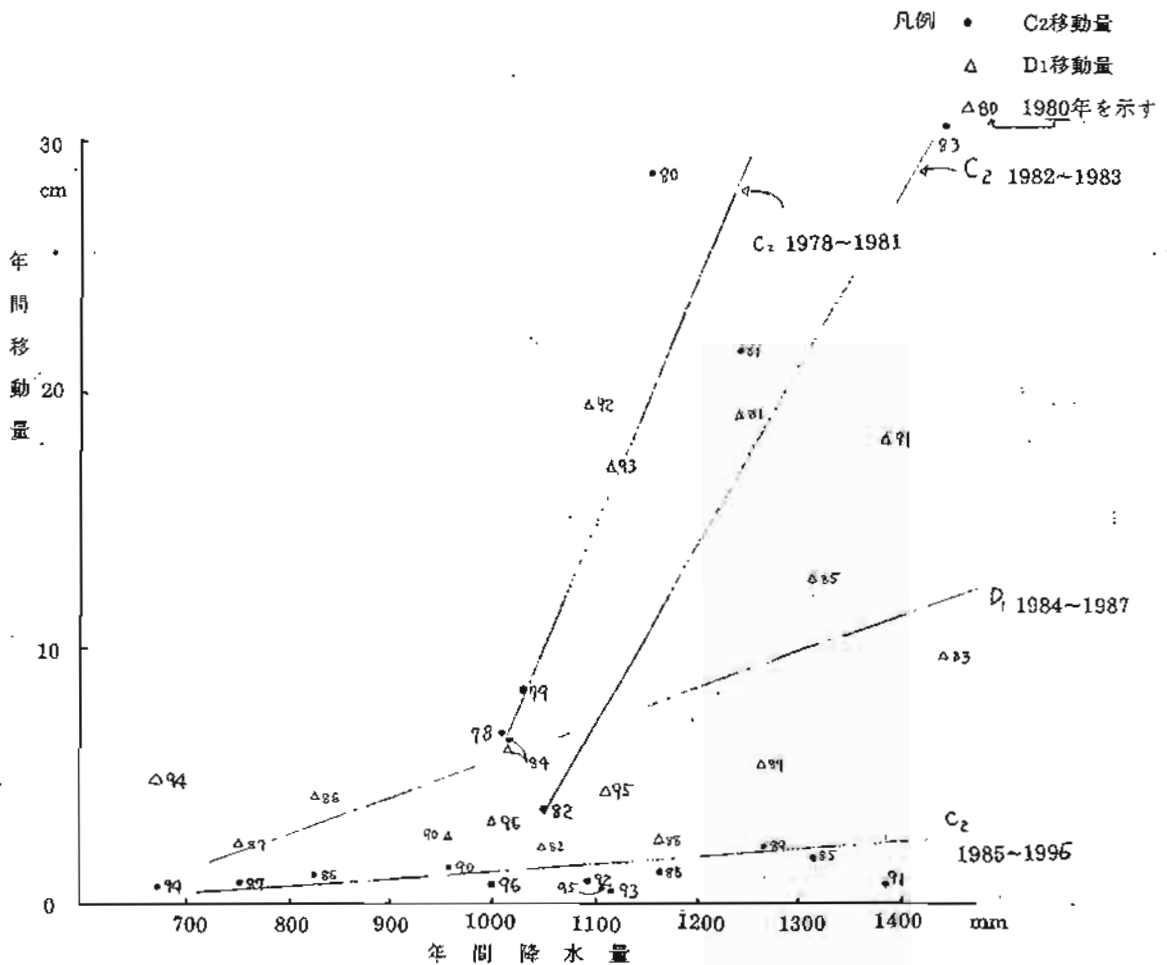


図4-18 年間降水量～年移動量相関図 1978~1996年(昭和53年~平成8年)



## ⑥ 昭和 50 年代後半以後の主として二次的地すべり地帯における局部的変動

昭和 50 年代後半には変動の鎮静化が顕著になったが、局部的な変動が残った。それは不動島の周辺と末端の Z-Z 測線周辺などである。その時の二次的地すべり地帯における亀裂の発生状況は図 3-5 に示したとおりである。

これらの地区の地盤特性と照合して、地盤変動の特性を検討してみる。

### i) 不動島周辺

図 3-5 に見られるように、不動島上方では 1979・1980 年（昭和 54・55 年）に地すべり地を横断する引張亀裂が C-C 測線の左岸側にあたる位置に幅 80m にわたって亀裂が確認され、その下流約 100m の右岸側にも幅 60m にわたる亀裂が確認された。さらに両者の間を斜めに結ぶように地すべり地を斜断する亀裂も認められた。そして、これから下方約 250m 間の土塊が不安定状態が残った。

斜め亀裂の位置は地すべり発生地帯の左岸側境界を下流に延長した位置のやや上方にあたる。

地すべり発生地帯の土塊が不動島西方に押し寄せ、その後土塊が向きを変えて、あふれ出るように下流に向かう、その転向線上の亀裂が顕在化したと言えるものである。

地すべり活動の激しかった時は、この転向部を中心に、その上下に多くの横断状亀裂が生じている。詳細を見ると C-C 測線の北端を中心にして幾筋かの亀裂が北北西～南南東、北～南、北北東～南南西の向きをもって生じている。地すべりが鎮静化するにつれて上記の多くの亀裂が目立たなくなり、C-C 測線北端から南南東に向かう斜めの亀裂が残ったと言える。

図 4-6 に示すように不動島周辺では、不動島の南側で基盤岩が浅く、北側では深くなっている。旧期地すべり土塊も同じ性質をもち、地すべり土塊の厚さも北側で厚く、南側で薄くなっている。このことは不動島の南から南西にかけての一带で基盤岩や旧期崩積土の深度が浅く、これが抵抗体になり地すべり発生地帯から滑動してきた土塊に抵抗し、東側に向きを変えさせたと言え、その転向線を中心に亀裂が発生したと見られる。

また、1980 年（昭和 55 年）以前は B-B・C-C 測線間で旧滝沢川の流路沿いに流下する地下水の排除工事が不十分だったため、C-C 測線より下流の土塊が不安定化し、上記の変動が目立ったものと考えられる。1980～1983 年（昭和 55～58 年）に不動島上方で 2 号トンネルの枝線施工・グラベルパイル工の施工・55-1 号集水井・RC セグメント集水井の施工を行ってからはこの方面の土塊の変動も鎮静化している。

その後、1988 年（平成元年）にもこの部分では亀裂の存在が確認されている。

### ii) 地すべり地末端部

1980 年（昭和 55 年）には、図 3-5 に示すように地すべり地末端部の中で、Z-Z 測線から約 120m 上方の、地すべり地のほぼ中心を上端にした円弧状の段差をもった引っ張り亀裂が確認された。円弧の中心部の落差が最も大きく、両側は不明瞭になっており、移動量も円弧中心付近から東方に向かうものももっとも大きかった。

この円弧状亀裂の発生位置と地すべり土塊がこの一帯を被覆する前の地形とを対照すると注目される事実がわかる。図 3-3 に示すように古い地形では三軒屋集落から東北にのびる低い尾根があり、その北西側が一段低くなって、その中を旧滝沢川が流下していた。地すべり土塊はこの低くなった、幅の広い沢状地に沿って舌状に押し出していた。上記の尾根は東北にのびて標高 415m 付近で滝沢川と接していたが、ここに 1949 年（昭和 24 年）に大規模な砂防ダムがつけられた（写真-35～37）。地すべり土塊は 1949 年（昭和 24 年）末にはこの砂防ダムに達し、これを乗り越えるようになったが、同時に三軒屋から北東にのびていた尾根を突き崩し<sup>\*</sup>、その下方の土塊も移動させながら扇状に拡大した。その後、旧滝沢川沿いの土塊流下よりも南側にあたる扇状地状の斜面を流下する土塊の移動速度が大きくなり、主流が変わっている。扇状に拡大した流下は 2 方向に発生し、その状況を示したのが図 3-1 である。このうち南側への流下は 1960 年（昭和 35 年）頃まで認められたがその後は安定化し、東方に向かうものが主体になった。

1980年(昭和55年)頃認められた円弧状亀裂は、三軒屋から北東に延びた尾根の直下にできている。砂防ダムと尾根の抵抗を受けて地すべり面が浅くなっている上流地域は安定化しており、その下流のあふれ出た土塊の部分に独自に不安定状態が残ったと言える。尾根が突き破られる前に、尾根の東側斜面で独自のクリープ性変動がおきているが、その地区が不安定状態が残っていた。つまり、この部分は旧期崩積土からなる斜面において元々不安定だった所にあたると言える。\*\*\*

### iii) 北峯南斜面

北峯の南斜面には、図1-2に示された二つの細長い滑動ブロックがある。これらは第4期の中頃(1955年頃)から裾花凝灰岩層にくいこむ形で地すべり面が形成され、徐々にその輪郭をはっきりさせてきたものであるが、西側のブロックは第5期に三角山東側の地塊と一緒に南方へ活動した。しかし、この部分には早くから排水工事が施工され、地塊はA-A測線周囲の安定化とともに安定してきた。東側のブロックでは、頭部滑落崖の形成は認められたが、下流への押し出しは不明瞭だったため、排水工事は施工されてこなかった。ところが、1980年(昭和55年)頃にはブロック下部も滑動をおこすようになり、これが西側ブロックに突き当たり、これを刺激し、西側ブロックの下部も含めた滑動をするようになった。この滑動は降水の多い時に著しくなり、西側ブロックの東側に施工された水路工を变形させた。この動きも東側ブロックに排水工を施工して以後は鎮静化してきている。

---

※ 三軒屋の東方尾根の東側斜面には1947年10月から新たに亀裂が発生し、在来土塊がクリープ性の変動をおこしていた。この尾根が1949年10月につき崩され、上方からの土塊と共に滑動を始めたものである。

\*\*\* 移動量観測の結果からみると、Y-Y測線とZ-Z測線の累積移動量が著しい差異を見せ始めるのは1969年(昭和44年)以後である。この頃から全体的に移動量の減少が見られるが、Z-Z測線方面ではその減少がおくれ、Y-Y測線とZ-Z測線の間で地塊が分裂し、下方が独自の滑動をしたとみられる。荒廃した草地の中のため、どこでその分裂がおこったのか識別できなかったが、植物園として地すべり地内を整備する工事が進んでから、亀裂の状況がはっきりしてきたと言える。したがって、亀裂の発生は1969年(昭和44年)頃までさかのぼる可能性がある。

#### 4-5. 地表水・地下水の性質

地すべりを誘発するものとして地表水・地下水が有力な作用を果たしていることは衆知のところであり、茶臼山地すべりでも地すべり発生地帯に池沼が多かったことからその性質が早くから問題になり、調査が重ねられてきた。ここでは、それらの調査から判明した事項をまとめてみたい。

##### (1) 地表水・地下水の流入経路

従来、この地すべり地周辺で早天のため水が不足して困っているときも、地すべり地内では地下水湧出が続き、池沼の水も涸れなかったという事実があるので、地すべり地内の水、特に地すべり発生地帯上部・上沼付近の水が特殊な涵養源とつながっているのではないかと考えられた。このため周辺の調査がボーリング・電気探査等によって行われてきたが、流入経路を明らかにすることはできなかった。上沼上方のボーリング孔 42-5 では地下水検層の結果、深度 35.25~37.30m 付近に流動が認められ、その位置からみてこれは地すべり地外から岩盤内を通ってくるものではないかと考えられた。しかし、周辺のボーリング孔ではそのような流動が見られず系統的な追跡ができなかった。

B-B、C-C 測線間の西南では滝沢川が地すべり地につき当たり、つけ替え水路によって南方へまわされている。ここでは地下水追跡および揚水試験の結果、岩盤内を通って旧滝沢川の流路沿いに浅層地下水が流入していることが明らかにされている。13号深井戸を揚水井戸とし、周辺の 43-29・43-30・43-31 号孔等を水位観測孔として測定を行った結果では、揚水井戸の地下水位低下に呼応して 43-30・43-31 の水位低下がおこっているが、43-29 では地下水位低下が素直な形であらわれていない。また、B-B 測線南方の地すべり地外では滝沢川を遮断する形で遮水壁を施工し、その上方にライナープレート集水井をおろし地下水の集排水を行っている。このライナープレート井戸で排水を行うと、13号深井戸の集排水量が減少し、ライナープレート井戸の排水を止めると 13号深井戸の集排水量も増加している。これらのことから旧滝沢川の流路沿いに地下水流入があり、これが C-C 測線以下にある土塊の泥ねい化を促進していることは明らかである。

この地すべり地は上端が分水界に位置しているため、地表水としての流入域は小さい。すなわち、茶臼山北峯の南山腹がその主要なもので、これ以外には大きなものがない。したがって、地表水としては地すべり地内に降った雨が主なものである。

この地すべり地では後述するように種々の排水工事が実施され、その排水量が観測されてきた。これらのうちトンネルによる排水量の観測値から年総排水量を概算でき、これと集水域内の推定浸透量を比較して考察することができる。

表 4-10 は 1号・2号トンネルの年総排水量および年降水量、地形的な可能集水域の年想定浸透量を比較して示したものである。これを見ると、トンネルによる年間総排水量は降水量と密接に関連しており、他の条件が変化しない時は両者は正の相関を示している (図 4-21)。

表 4-10 トンネル排水量総括表

年度 (年)	年降水量(R) (mm)	A (F)	B (F)	C (F)	D (F)	1号集水井 RC集水井 (F)	C/A	D/B	備 考
1980	1152	53,800	80,900	16,900	30,100		0.31	0.37	集水井内集水ボーリング 2500m、ボーリング孔洗浄 600m 1号集水井施工
1981	1241	57,800	73,800	31,400	36,400	11,500	0.54	0.55	集水ボーリング 756m
1982	1049	49,000	71,100	17,900	30,300	15,700	0.37	0.65	RCセグメント集水井施工 集水ボーリング 680m トンネル枝線 88m (不動島上方)
1983	1440	67,300	96,200	26,100	56,200	1,100	0.39	0.30	トンネル枝線 30m (不動島上方) グラベルパイル工 23 本施工
1984	1015	47,400	62,800	25,300	48,700		0.49	0.78	地すべり地下端部 集水井 2 基 (Z-Z 上方)
1985	1317	61,500	84,600	27,200	62,700		0.44	0.74	地すべり地下端部 集水井 2 基 (Z-Z 上方)
1986	826	38,600	54,200	15,900	36,700		0.41	0.68	地すべり地下端部 集水井 2 基 (Z-Z 上方)
1987	754	35,200	52,200	11,800	25,400		0.34	0.49	地すべり地下端部 集水井 2 基 (Z-Z 上方)
1988	1167	54,500	86,400	12,600	36,600		0.23	0.42	地すべり地下端部 集水井 2 基 (Z-Z 上方)
1989	1266	59,100	83,900	23,500	49,200		0.40	0.59	地すべり地上部 集水井の集水ボーリング孔洗浄 1100m 集水井へトンネル間の導水管洗浄 (2号トンネル)
1990	1008	47,100	68,200	17,500	37,900		0.37	0.56	地すべり地上部 集水井の集水ボーリング孔洗浄 3000m
1991	1388	64,900	91,600	26,300	55,800		0.41	0.61	
1992	1094	51,100	67,400	25,400	50,900		0.50	0.76	集水井へトンネル間の導水管洗浄 (2号トンネル) 地すべり地上部(D測線と1号ケーソングの間)に集水井 2 基
1993	1114	52,000	68,400	26,100	48,800		0.50	0.71	
1994	673	31,400	37,500	19,600	31,000		0.62	0.83	
1995	1106	51,700	72,800	21,300	46,300		0.41	0.56	
1996	1000	46,700	65,200	19,700	36,500		0.42	0.56	

A : 1号トンネル集水域の年浸透量 =  $103,800 \text{ m}^2 \times R \times 0.45 \times 1/1000$

B : 2号トンネル集水域の年浸透量 =  $84,800 \text{ m}^2 \times R \times 0.45 \times 1/1000 + A - C$

ただし、集水域面積 1号トンネル 103,800  $\text{m}^2$   
集水域面積 2号トンネル 84,800  $\text{m}^2 + 1号トンネル直線分$

降雨に対する浸透率 45%

降雨に対する表面流出率 10%

降雨に対する浸透率 45%

C : 1号トンネル年間総排水量

D : 1号トンネル年間総排水量



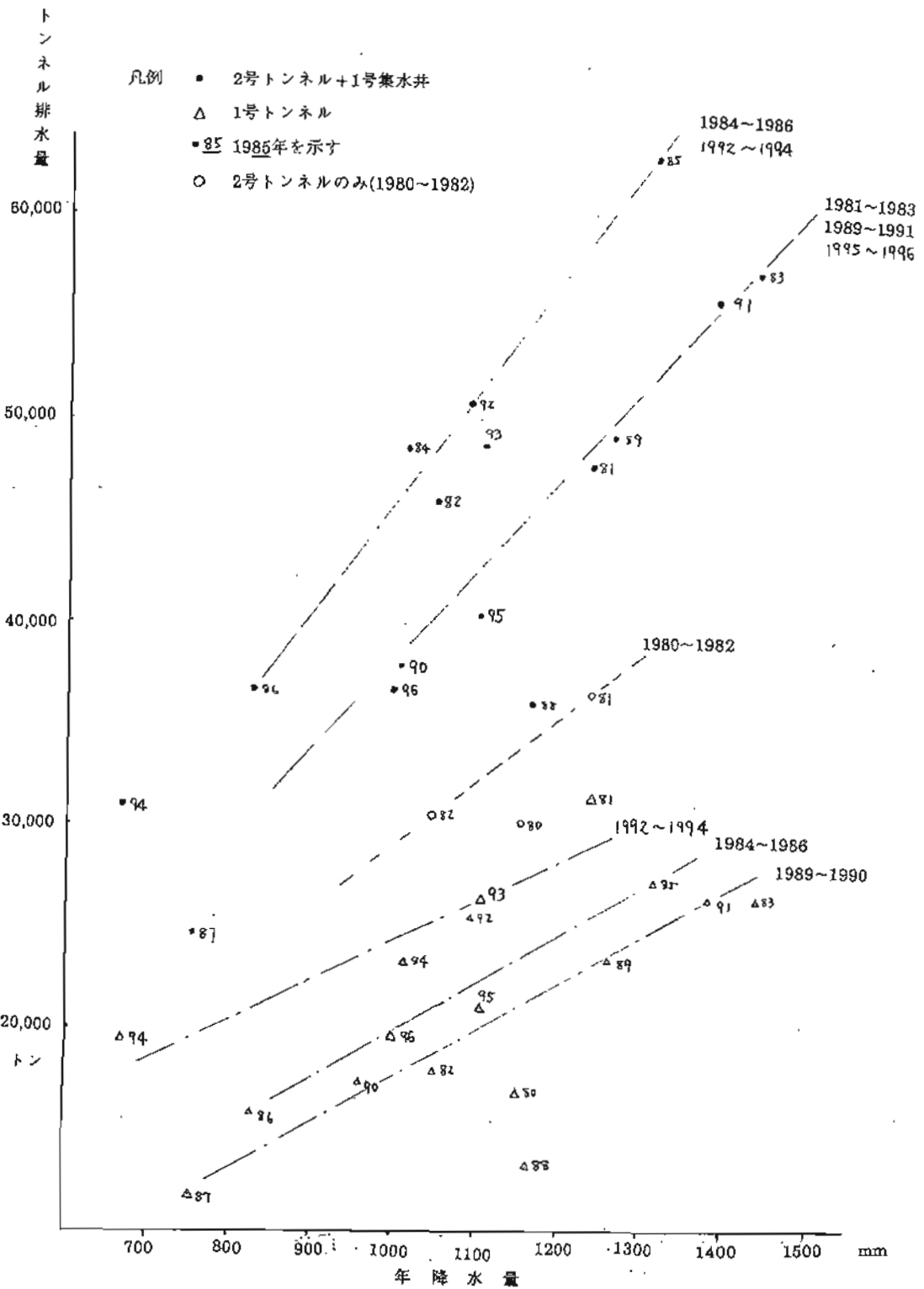


図4-21 トンネル年総排水量～年降水量相関図 1981～1996年（昭和56年～平成8年）

また、集水井の集水が順調に行われ、さらに集水井からトンネルへの導水が正常に行われている時は、想定浸透量とトンネル排水量の比率は1号トンネルで0.4～0.6、2号トンネルで0.5～0.8であり、2号トンネルが常に1号トンネルより大きくなっている。このことは地すべり発生地帯の中間部から上方部を集水域とする1号トンネルでは、地すべり地外からの地下水流入は考えなくとも良いということを示している。これに対し、地すべり発生地帯の下流部をも集水域とする2号トンネルでは地すべり地内の集水域だけでなく、地すべり地外の集水域をもつため、上記比率の数字が常に大きくなっているのではないかと考えられる。

## (2) 地すべり地内の地下水賦存状況

地すべり地内の地下水の賦存状況に関しては電気探査・揚水試験・地下水検層・地下水追跡等によって調査が行われてきた。

電気探査では水平探査により低見かけ比抵抗値地帯の分布状況を見て、これから地下水賦存地帯の推定を行った(図4-22)。しかし、地すべり土塊の性質が見かけ比抵抗値に強く影響し、砂質土の厚い地帯(地すべり地の右岸側)で高見かけ比抵抗値となり、粘土質地帯で低見かけ比抵抗値となっており、低見かけ比抵抗値地帯が必ずしも地下水賦存地帯となっていない。

揚水試験は地すべり対策工事で施工した深井戸(セミウェル)を揚水井戸とし、周辺のボーリング孔を水位観測孔として実施しており、興味ある結果が得られている。

地すべり地上部の上沼周辺では地下水は浅層部の砂層中に多く、揚水井戸のポンプを十分深い位置(20m以上)に入れても周辺の水位は特定深度(15m程度)以下には下らない。また、揚水の影響のおよぶ範囲が限られており揚水井の周辺へ均等に広がっていない。地下水は浅層部の砂層中に充満している場合を除くと極めて不規則な網目状の連絡をしており、それらが所々で水槽状に貯留されていることがわかった。このため、深井戸内の地下水位を低下させて地下水を集めても限られた特定地域の地下水だけを集めるという結果になっている。

A-A測線の下方で10号深井戸を揚水井戸として測定を行った結果では、その影響がボーリング孔43-6・43-3・43-4方向、すなわち地表に見られる陥没帯\*の方向に一致していることが確認された。

B-B測線の上方では右岸側の深井戸2号~深井戸1号の間、幅約50mの間に浅層部(深度12~15mの間)を層流状に流下する地下水が賦存しており、これがB-B測線付近にある池沼の源となっている。地下水賦存の状態がやや帯水層状になり、横方向に広がっている所はこの地区のみで、他には一般的に認められない。地表部でみると非常に砂質分の多い地すべり土塊であるにもかかわらず、地下水賦存の状態が以上の様である点は注目すべき所である。

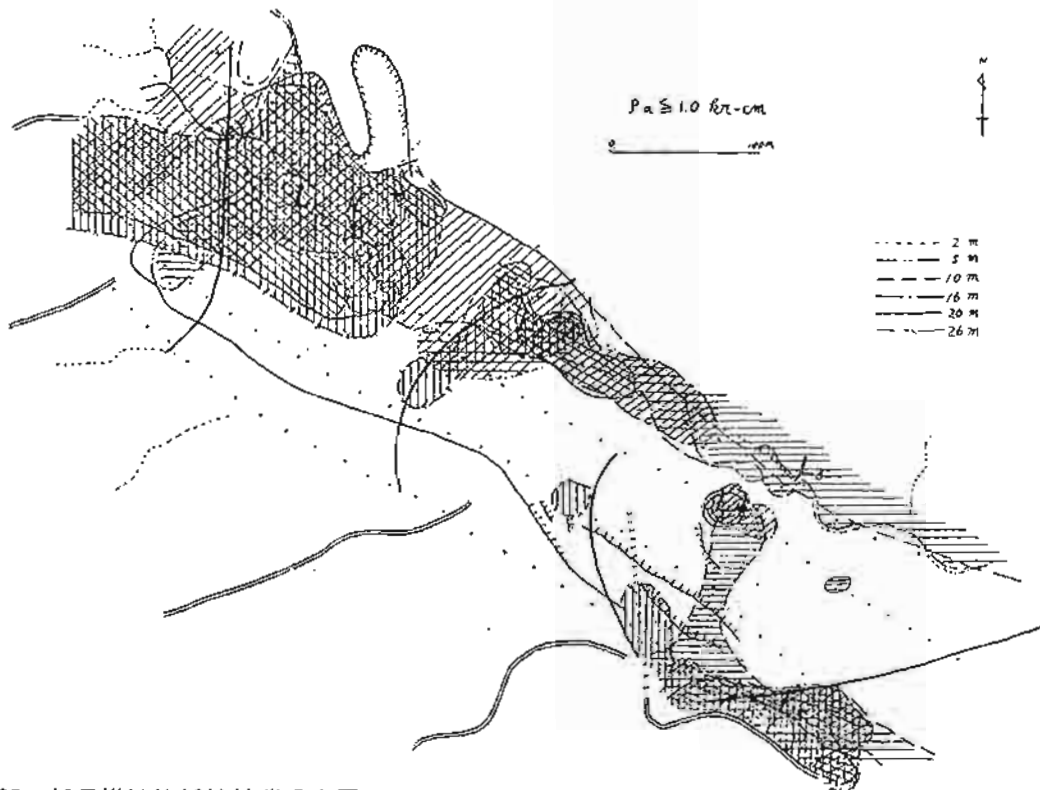


図4-22 低見掛け比抵抗地帯分布図

\* この陥没帯は新規亀裂地帯の側面滑落崖の延長部にあたる。

地すべり地内の地下水の流下状況は地下水追跡により検討してきた。地すべり地上方部（A-A測線周辺）のボーリング孔にトレーサー（フルオレッセソダ、食塩水）を投入して、下流のボーリング孔で採水・検出を試みた。その結果では系統的・規則的な検出が見られず、検出場所・濃度も不規則である。このため、流下状況は脈状をなすものが多いとみられたが一部では層流状の検出も認められた。流下速度と調査時の地下水位から動水勾配を仮定して透水係数を出すと、亀裂系と考えられるものは平均  $1.7 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 、層流系と考えられるものは  $5.8 \times 10^{-2} \text{cm/s}$  が得られ、両者の間にやや差異がある。1968年（昭和43年）12月および1969年（昭和44年）3～4月に実施した地下水追跡の成果は図4-23・表4-11のとおりである。

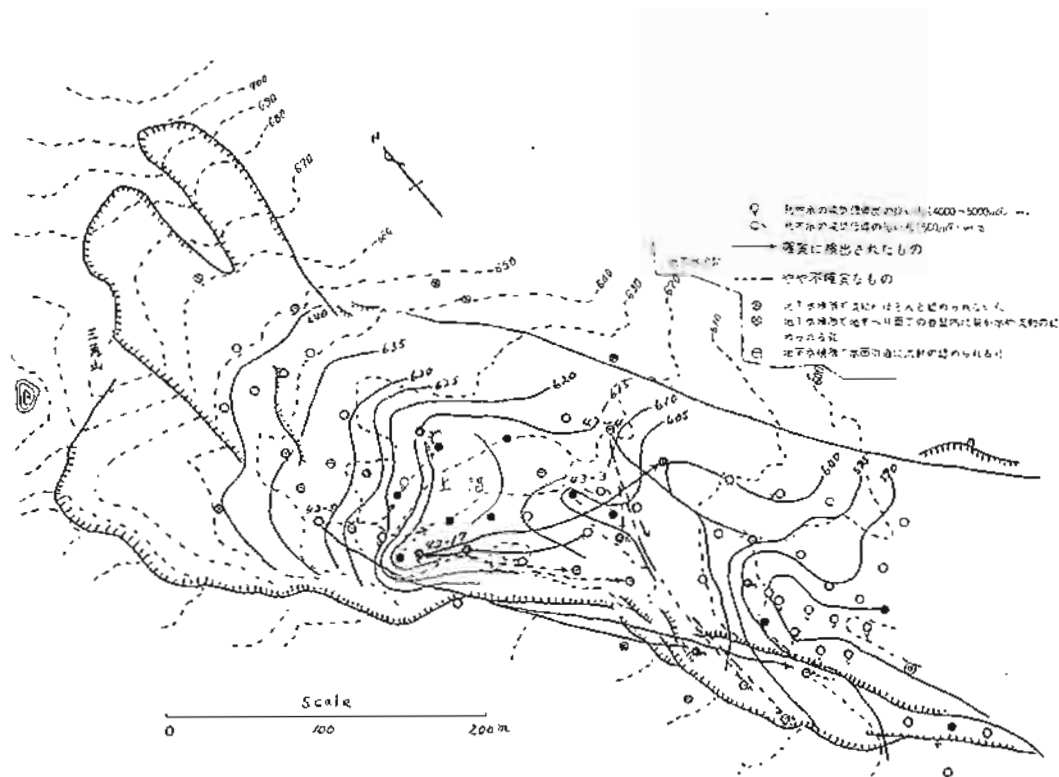


図4-23 水位等高線図、地下水追跡成果図（昭和44年7月24日）

表4-11 地下水追跡実施状況

試薬投入孔	試薬名	試薬投入時	採水孔	検出孔	備考
B.V.42-5	フルオレッセソダ	S. 43.12.26 11時	42-14, 42-16, 42-15, 42-18, 43-8, 深井戸3号, 同4号, 同7号, 同8号, 同9号	42-10*, 43-8*, 42-18, 深井戸8号, 同9号, 同4号	投入量 1kg
B.V.42-17	食塩水	S. 44.3.24- 3.29 連続	43-1, 43-2, 43-3, 43-8, 43-14, 43-15, 43-16, 43-29, 43-31, 42-9, 42-10, 深井戸4号, 同3号, 同8号, 同9号, 同5号	43-2*, 43-7*, 43-1	" 210kg/d
B.V.43-3	"	S. 44.4.12- 4.15 連続	43-5, 43-6, 43-7, 43-8, 43-9, 43-10, 43-16, 43-29, 43-31, 42-9, 42-10, 42-20, 深井戸1号, コンクリート井筒, 7号地下水井, 43-2	不 明	" 310kg/d
B.V.43-4	フルオレッセソダ	S. 44.4.12 8時	同	42-10, 43-8, 43-10*, 43-6, 7号地下水井, 43-16, 42-9	" 1kg
B.V.43-10	"	S. 43.12.26 11時	43-11, 42-10, 42-A, 42-C, 42-G, 地下水井1号 同2号, 同3号, コンクリート井筒, 永久沼上方池	不 明	" 1kg

註1) \*印は非常に明確に出ているもの

\* 2) 採水孔でない箇所の検出は他の調査（バックグラウンド測定）で判明したもの

ボーリング孔内の地下水流動は地下水検層（食塩検層）で調査している。しかし、地下水の導電率がきわめて高い地域とそうでない地域が入りまじっており、明瞭な流動を認めた孔は少ない（図 4-23）。導電率の高い所は 4000~5000 $\mu$ S/cm、低い所は 500 $\mu$ S/cm と両者の間に大きな開きがあり、高い所では地下水検層が非常にやり難くなっている。地下水検層により確認された流動層の深さは一定せず土質との関係も一定しない。また、流動層の認められたボーリング孔と隣接した孔で同じ状態で流動層が認められることも少なく、流動層の連続状況は縦断的にも平面的にも極めて不規則である。しかし、地すべり地上方部のボーリング孔で地すべり面下の岩盤内に裂か水的な流動がかなり見られ、またボーリング 42-5 は例外的に全層にわたって流動がみられた。さらに、地下水面付近に流動が認められるボーリングも多い。

一方、検層結果では地下水流動がほとんど認められない孔でも水位変動は認められ、また揚水試験では著しい水位変化を示しているものがある。これは自然状態では地下水流動が極めて緩慢であっても、流動層が挟在されていないというのではなく、その孔のおかれている水槽状の貯留地下水の流動が全体として非常に緩慢であって、その一部を人為的に集排水すると流動が発生し、水位変化も出てくるのではないかと考えられる。なお検層の結果、地下水流動がほとんど認められない孔でありながら地下水追跡のトレーサー検出が認められている所もあり、矛盾した結果になっている。

地すべり発生地帯の地下水位は 1965 年（昭和 40 年）以後継続して測定されている。観測孔の水位は降雨・融雪の影響を受けて変動し、恒常的に一定水位を保っている所はない。各観測井の水位変動図は資料に収めた。しかし、地下水位の変動状況は地区により非常に違い、変動幅の大きい地区と小さい地区が対照的に存在している。図 4-24 は梅雨期の降雨によって地下水位が大きく上昇した 1969 年（昭和 44 年）6 月 29 日と 7 月 6 日の水位差を平面図上に整理したものであるが、これを見ると地表土塊に横断亀裂の認められる地区で変動幅が系統的に大きくなっており、下方になるに従い変動幅が小さくなっている。降水は変動幅の大きい地区で地下に浸透し、変動幅の小さい地区で貯留されるとみられる。

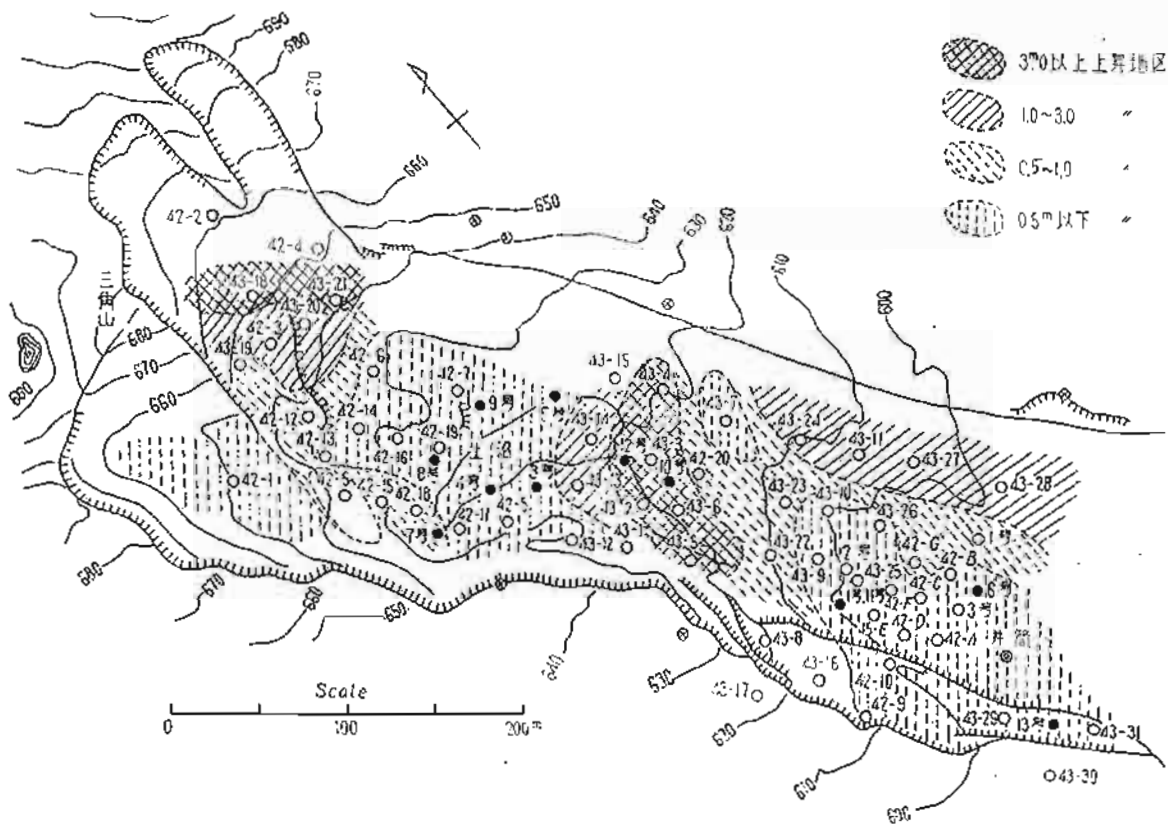


図 4-24 茶臼山上部平面図（昭和 44 年 6 月 29 日水位と 7 月 6 日水位の差）

地下水の導電率は変動幅の大きい地区では小さな値を示し、変動幅の小さい地区では大きい値を示す傾向がみられ、地下水が貯留されている間に水質変化をおこして、導電率も高くなるのではないかと考えられる。

以上の調査を総合して考えると、この地すべり地の地下水は全般に停滞性が強く、各所に水槽状に貯留されており、横方向に広がって帯水層を作っている所は少ない。対策工事により、排水が実施される以前は地すべり地内に上沼をはじめとする多くの池沼があり、全体的に水が豊富であるという感じを与えていたが、これも地下水や地表水が貯留されやすいという性質に起因していたと言える。

後述の排水工事で施工された諸施設による排水量の調査結果からみると、地下水の豊富な地区は上沼西方（4号深井戸・7号深井戸・1号井筒周辺）および1号深井戸・3号井筒周辺であり、いずれもIIIブロック・IVブロック（図4-9）の上端からやや下った位置にあたり、地表土塊が沈下現象をみせている所である点が注目される。

### (3) 水質

この地すべり地の地表水・地下水が特異な水質であることは早くから明らかにされており、その原因が問題視されていた。

水質の特異性の一端を知るため、1969年（昭和44年）に実施した水質分析の結果を示すと表4-14のとおりである。これからもわかるように酸性が非常に強く、陽イオンとして $\text{Ca}^{2+}$ ・ $\text{Mg}^{2+}$ 、陰イオンとして $\text{SO}_4^{2-}$ を多含し、 $\text{Cl}^-$ は少ない。ここでは、分析を行っていないが $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ も含まれている。また陽イオンでは $\text{Na}^+$ の多い地区と少ない地区があり、前者は三角山東方から地すべり地の左岸側に、後者は上沼の西南から下方の地すべり地右岸側に認められる。

1967～1969年（昭和42～44年）には地すべり地内にある深井戸等の水を採水し、継続的に分析を行っているが、その結果では次の事項が明らかにされている。

- i) 水質は降雨・融雪の影響を受けて変化しており、豊水期には全体に含有成分が少なくなり、渇水期には多くなる傾向がある。
- ii)  $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{Mg}^{2+}$ の含有比率を見ると豊水期には $\text{Mg}^{2+}$ 比率が高くなり、渇水期には低くなる。一方、同一系統とみられる水を上下流で比較すると下流ほど $\text{Mg}^{2+}$ 比率が低くなっている。これらのことから地下水が貯留されているうちに $\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Ca}^{2+}$ の変換が一定法則で行われていることが推測される。

地すべり地外で実施した陸水の水質分析の結果では、何処にも地すべり地内に見られるような特異な水質の水は存在しない。また、ボーリングコアの付着水を分析した結果では、表4-13・図4-25に示すように、亜炭層付近で含有成分が特に多くなっている。さらに、地すべり地内の岩石、特に亜炭を含む凝灰岩を破碎して、よく空気にさらし、蒸留水を加えると硫酸分の多い特異な水ができる。これらの結果から水質の特異性は、地すべり地内で与えられたものと考えられる。

なお、これら酸性の強い地下水は空気に触れると水酸化鉄を析出する。

このため、横孔ボーリングなどで地下水を集排水すると、導水管の縁に酸化鉄が付着して通水性が次第に悪くなる。このようにして排水機能が失われてくるため、排水施設の維持・管理にはこの地すべり特有の困難な問題をひきおこしている。

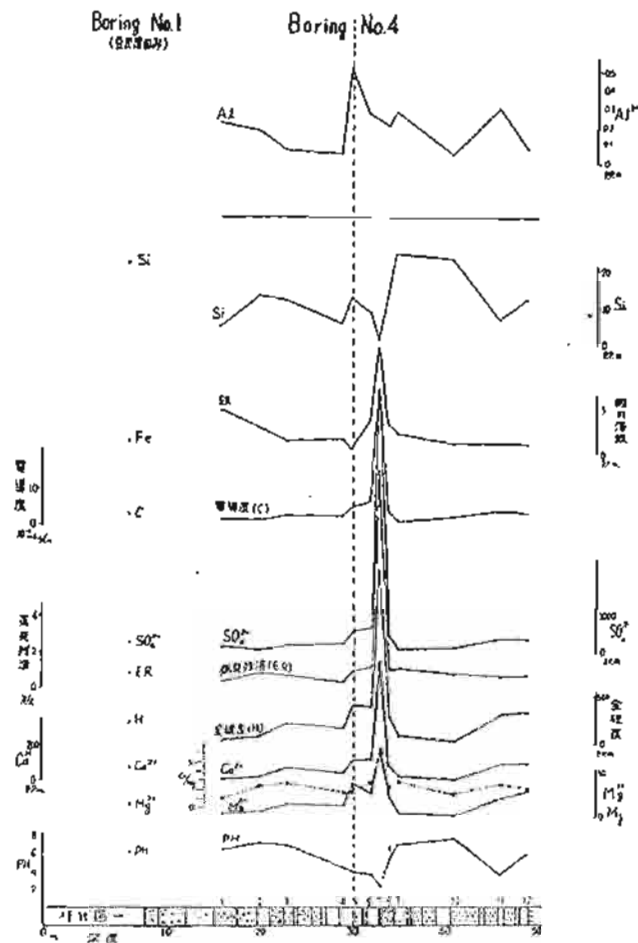


図 4-25 ボーリングNo.4 コア浸出水分析成果図

表 4-12 水質分析成果表 (昭和 44 年 6 月 8 日採水)

No.	標 本 水 個 所	P.H.	R.P.H.	P.H. 4.3 アルカリ度 (me/l)	P.H. 8.4 酸 (me/l)	Na <sup>+</sup> (me/l)	K <sup>+</sup> (me/l)	Ca <sup>++</sup> (me/l)	Mg <sup>++</sup> (me/l)	Cl <sup>-</sup> (me/l)	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> (me/l)	SiO <sub>2</sub> (me/l)
1	1号地下水井 (水面)	6.5	7.0	4.144	6.480	1.80	0.217	3.02	10.57	4.34×10 <sup>-4</sup>	18.11	4.03×10 <sup>-1</sup>
2	" (水面下 5 m)	6.4	6.9	3.972	6.020	1.75	0.148	8.63	8.52	4.77	18.95	4.69
3	" ( " 10 m)	6.4	7.0	3.854	5.867	1.47	0.141	8.09	4.75	9.90	17.07	4.83
4	3号地下水井	6.0	6.7	0.492	0.633	2.24	0.207	7.85	7.13	2.51	21.03	5.52
5	3号深井戸	6.8	7.4	1.704	1.894	0.687	0.102	7.25	9.58	1.72	18.53	5.57
6	4号 "	5.7	7.0	1.302	7.581	0.674	0.202	12.42	17.22	3.13	29.36	14.26
7	6号 "	7.0	7.0	6.762	6.231	4.17	0.399	21.44	10.66	3.39	32.48	5.72
8	" (水面)	7.0	6.8	7.143	6.116	3.83	0.506	21.56	10.26	11.65	31.85	5.33
9	" (水面下 5 m)	7.0	7.0	7.053	6.940	3.87	0.637	19.93	12.82	3.13	32.89	5.46
10	" ( " 10 m)	7.1	7.0	7.089	6.231	3.80	0.550	21.56	10.80	6.52	30.40	4.49
11	7号地下水井 (水面)	7.1	7.2	4.989	2.627	0.80	0.046	7.03	5.48	7.62	11.45	0.383
12	" (水面下 5 m)	7.1	7.2	4.944	2.281	0.79	0.061	7.22	5.73	8.63	11.66	0.666
13	7号深井戸	5.7	6.3	0.976	10.894	1.72	0.187	7.20	35.52	22.6	55.80	4.29
14	8号 "	6.8	7.4	5.572	1.212	0.861	0.136	9.79	10.40	2.74	18.53	4.13
15	9号 "	5.9	6.7	1.551	2.795	11.17	0.171	9.79	1.19	19.8	19.99	7.39
16	10号 "	6.0	7.3	0.927	3.240	1.17	0.159	13.15	11.40	1.92	25.40	8.15
17	11号 "	6.2	7.1	1.803	5.196	2.06	0.197	15.31	16.19	2.74	32.90	3.33
18	12号 "	5.6	6.7	1.534	13.208	3.23	0.233	3.28	26.58	3.64	35.39	3.72
19	13号 "	5.8	6.0	0.490	3.700	1.22	0.210	6.90	3.89	19.46	18.11	3.69
20	コンクリートウェル	5.9	6.3	1.363	8.167	1.23	0.202	14.19	15.81	3.72	39.14	5.13
21	B.V. 42-5	-	-	-	-	8.39	0.450	13.37	12.05	7.33	29.56	9.05
22	" 42-10	5.3	5.9	1.109	0.546	0.535	0.087	1.16	0.44	17.2	1.89	2.18
23	" 43-1	-	-	-	-	1.35	0.266	17.79	56.97	6.91	66.62	6.72
24	" 43-5	3.6	3.6	(0.498)	3.733	0.513	0.194	22.86	25.04	6.43	43.51	11.9
25	" 43-6	5.8	7.0	0.694	2.943	1.94	0.166	2.93	2.12	7.05	4.58	3.89
26	" 43-7	4.8	5.0	0.363	8.554	3.08	0.189	16.60	6.74	198.17	27.48	5.79
27	" 43-11	5.8	7.0	2.508	9.147	16.74	0.969	26.96	17.70	4.34	67.46	5.56
28	" 43-20	6.4	7.0	4.882	4.722	28.26	1.03	14.88	6.78	5.92	45.80	4.79
29	" 43-28	6.5	7.3	4.116	3.073	16.22	0.414	7.98	4.40	3.41	26.23	4.03
30	長孔横ボーリング	6.6	7.1	2.475	2.264	0.652	0.202	1.85	1.27	6.52	3.58	4.29
31	久 沼	3.9	3.9	(0.035)	1.505	2.27	0.205	7.17	3.79	1.78	12.28	7.52
32	長 沼	3.8	3.8	(0.024)	1.359	1.39	0.184	8.54	7.34	11.1	18.84	8.05
33	C-C中 沼	3.6	3.6	(0.435)	3.610	1.43	0.217	16.69	16.84	4.46	33.52	9.29
34	C-C南地 沼	5.7	6.5	2.029	8.643	2.38	0.639	20.90	12.61	1.86	35.39	3.06
35	野 井	6.5	6.8	0.209	0.092	0.330	0.107	1.60	0.95	29.2	1.863	2.995
36	U 字 水 路	6.8	7.2	1.326	0.631	1.187	0.209	6.25	4.28	20.6	11.55	6.423

( ) 内は P.H. 8.4 アルカリ度

(注) コンクリートウェル: 2号深井戸の南に施工した集水井筒、昭36年度施工  
 長孔横ボーリング: 宇土沢川の上流から上沼の底へ向け掘進した長孔横ボー  
 リング長346m、先端は上沼の地すべり面下15m附近にある。  
 長 沼: 4号井筒から西北方向にのびていた細長い沼

C-C中 沼: C-C測線のほぼ中間の上にあった沼  
 C-C南地 沼: 5号井筒附近にあった沼から流出していた水  
 野 井: A-A測線の西南約300mの地すべり地外にある井戸  
 分析は信州大学教育学部化学教養掛川一夫教授に委託して行なった。

表4-13 ボーリングNo4 コア層出分析結果表

No	深度 地質名称	コア一置 および攪拌時間	電導度 上段(Ⅰ) 下段(Ⅱ)	温度 (電導度 測定時)	通心分離 の回転数 および攪 拌時間	PH	全硬底 CaCO <sub>3</sub>	Ca <sup>2+</sup> (ppm)	Mg <sup>2+</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	残可溶 炭素	Si (ppm)	Al (ppm)	蒸発残 渣	色 (色)	Ca <sup>2+</sup> (mmol/L)	Mg <sup>2+</sup> (mmol/L)	Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup> (mmol/L)	Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup> (mol比)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mmol/L)
1	15.0 ~ 16.5 灰色粘土	50.062 時分 6:0	10 <sup>-4</sup> mb 0/cm 1.54 2.00	17.0	3200 回/分 20分	6.41	28.8	5.8	3.5	171.8	9.2	4.73	(4.4)	0.20±	0.4011	有 (黄)	0.14	0.14	0.28	1.00	1.79
2	19.5 ~ 21.0 灰色細粒砂岩	49.715 8:20	1.43 1.81	9.0	3400 25	7.15	59.2	19.8	4.8	72.6	0.2	2.76	(12.7)	0.161	0.8074	有 (黄)	0.49	0.20	0.69	2.45	0.76
3	22.5 ~ 23.5 灰色粘土	49.978 5:45	2.50 3.33	14.0	3400 20	5.9	208.5	61.2	13.5	173.7	0.2	1.32	(11.3)	0.054	0.6587	有 (白)	1.53	0.56	2.09	2.73	1.81
4	28.5 ~ 30.0 灰褐色中粒砂岩	50.236 7:0	2.37 3.33	12.0	3500 10	4.4	144.7	37.0	12.7	171.1	0.2	1.45	5.4	0.036	0.3595	無 (無)	0.92	0.52	1.44	1.78	1.89
5	30.0 ~ 31.5 青灰色粘土(泥炭20cmを含む)	50.426 25:45	4.65	13.0	3200 19	4.0	409.7	105.0	35.8	515.9	0.2	0.25	12.5	0.562	0.9265	無 (無)	2.62	1.47	4.09	1.78	5.68
6	31.5 ~ 32.8 灰色細粒砂岩	50.205 11:27	6.50	15.5	3100 19	3.6	391.4	115.8	24.7	610.2	6.2	3.66	8.1	0.250	1.1349	無 (無)	2.89	1.02	3.91	2.83	6.66
7	32.8 ~ 33.0 泥炭	49.809 10:0	37.04	18.0	3100 16	2.0	1915.3	642.4	74.7	6943.3	11.46	11.46	0.5	12.046	(泥炭)	無 (泥炭)	16.05	3.07	19.12	5.23	72.74
8	33.0 ~ 34.5 小礫を含む青色粘土	50.200 8:32	3.87	13.4	3300 20	5.2	291.4	29.9	22.3	465.1	0.2	3.13	(12.0)	0.183	0.9299	有 (淡黄)	1.99	0.92	2.91	2.26	4.44
9	34.5 ~ 36.0 灰色粘土	50.207 17:0	1.00 1.33	10.0	3500 25	7.0	71.1	21.3	4.4	76.5	0.2	2.11	(24.5)	0.263	1.0202	有 (淡黄)	0.53	0.18	0.71	2.94	0.80
10	40.5 ~ 43.5 灰色粘土	50.186 12:30	2.17 2.60	13.5	3600 30	7.6	15.9	3.9	1.5	108.6	0.2	0.98	(23.1)	0.038	0.7428	有 (白)	0.097	0.062	0.159	1.55	1.13
11	45.55 ~ 46.25 灰色粗粒砂岩	50.230 11:23	3.86	12.0	3300 10	3.6	318.5	92.8	21.0	352.4	0.2	0.91	(6.6)	0.282	0.6490	無 (無)	22.3	0.86	3.18	2.70	3.69
12	49.0 ~ 茶褐色泥岩	49.979 7:52	3.33	11.5	3000 20	6.0	342.9	91.9	27.5	344.1	0.2	0.90	(12.0)	0.066	0.6875	有 (白)	2.29	1.13	3.42	2.03	3.58

(注) ボーリングNo4孔は1958年(昭和33年) A~A測線において右岸開地すべり界から25m入った地すべり地内に施工したものである。掘さく深さ45.0mボーリング孔のくいちがいににより深さ30.2mに地すべり面が確認された。



(4) 二次的地すべり地帯の地下水

1979年(昭和54年)頃から、不動島周辺に亀裂が明瞭になってきたことを受け、不動島より下方にあたる二次的地すべり地帯の地質・地下水調査が初めて本格的に行われた。

調査では地下水に着目し、それまでも行われた揚水試験・地下水検査・地下水追跡・水質分析が行われた他、ボーリング掘削中の地下水位変動による帯水層の解析が行われている。

二次的地すべり地帯は、砂質粘土(崩土II)・安山岩礫を含む粘性土(崩土I)が厚く堆積している。このため、地下水位は全般に浅い。ボーリング掘削中の地下水位解析では、所々のボーリング孔(54-2・54-3・54-5・54-6・55-12・55-13・55-14)で被圧地下水の存在が確認されている。しかし、不動島上方のボーリング孔では、それまでに施工された地下水排除工の効果もあり、地下水位も深く、被圧地下水の賦存は確認されていない。

揚水試験は55-10と54-18の2孔で行われたが、崩土Iと崩土IIの水理的な特徴を明瞭に示す結果となった(図4-26)。表層に分布する崩土IIは比較的揚水量が多く、透水係数も $10^{-4}$ cm/secオーダーであるのに対し、崩土Iは揚水量も少なく透水係数も小さい。これは崩土Iがよくしまつて硬く、青灰色の還元的な環境にあるため停滞性の地下水を貯留していることに由来するものと推定される。

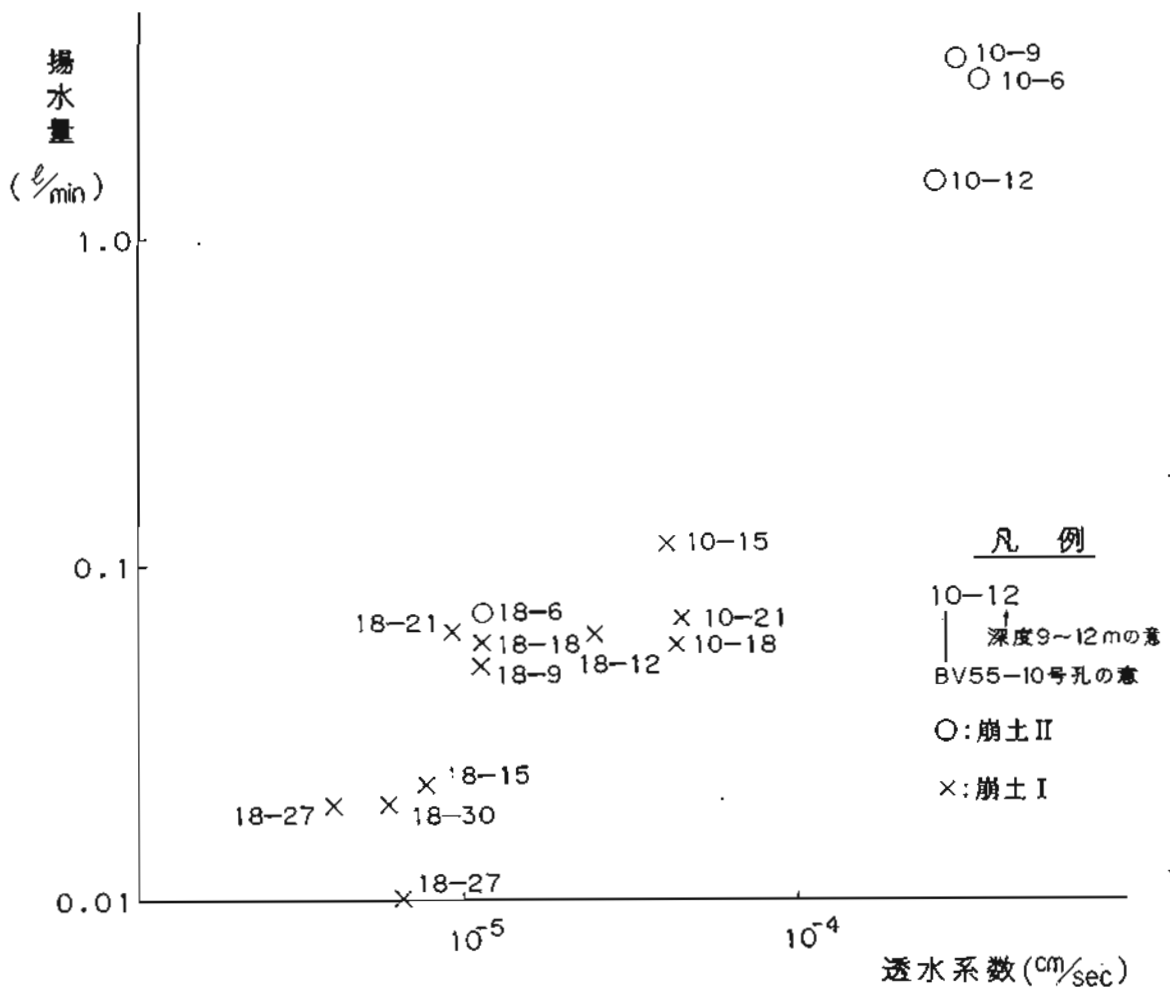


図4-26 下部ブロックにおける揚水量と透水係数の関係

一方、水質分析の結果では地すべり発生地帯でみられた  $\text{SO}_4^{2-}$  イオン濃度の高い地下水が、二次的地すべり地帯の各所に存在していることが明らかになった。ボーリング孔内水の  $\text{SO}_4^{2-}$  イオンの量は  $500\sim 2500\text{mg/l}$  と極めて多い (表 4-15)。

このような地下水が、不動島南西方のブロック外から流入している可能性について検討するため、地下水追跡調査が行われた。調査では不動島南西方にある 55-18 ボーリング孔に  $\text{NaCl}$  をトレーサーとして投入し、下流側にあるボーリング孔において  $\text{Cl}^-$  イオンの分析を行った。結果は、表 4-14・図 4-27 に示すように投入孔から滝沢川方面への流れ、不動島の南側へ向かう流れ、そして北方へ向かう流れが確認された。これらは、現在の沢地形や旧滝沢川の流路に沿うものである。

表 4-14 地下水追跡調査結果

調査期間	バックグラウンド採水	昭和 55 年 10 月 17 日～10 月 22 日 (6 日間)
	トレーサー投入	昭和 55 年 10 月 22 日
	採水期間	昭和 55 年 10 月 22 日～11 月 11 日 (21 日間)
トレーサー	食塩 200kg	
検出方法	東亜電波工業 (株) 製 IM-7B イオン濃度計による $\text{Cl}^-$ の測定	
投入孔	BV55-18	
検出孔	BV48-6(1), BV55-18 すぐ後の沢(3), BV54-1 (11～21), BV47-14 (2～10, 12, 14～15), BV47-2 (13～14)	
非検出孔	BV48-7 そばの手洗い水, BV47-15, 池, BV48-1, BV54-2, BV54-3, 1 号トンネル出口	

( ) は検出した投入後の日数



図 4-27 地下水追跡調査結果図 S=1:1000

表 4-15 水質分析結果

No.	No.	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fe	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
No.1	BV46-10	33.40	8.61	117.00	39.60	11.30	545.00		
No.2	BV46-14	20.00	1.47	51.80	28.80	3.90	280.00		
No.3	深井戸 41-6 号	129.00	21.80	68.40	167.00	4.10	920.00		
No.4	1号トンネル出口	55.60	8.19	256.00	125.00	6.40	1200.00	25.60	0.05
No.5	1号トンネル脇水路	82.20	20.80	293.00	82.50	5.10	1220.00		
No.6	不動島西湧水池	31.10	5.67	154.00	58.80	7.30	670.00	1.23	0.01
No.7	2号トンネル出口	64.40	9.87	248.00	89.40	6.50	1080.00	12.60	0.19
No.8	滝沢川 2号トンネル脇	28.90	5.04	81.40	28.80	46.90	265.00		
No.9	不動島東湧水池	35.60	4.20	141.00	47.50	4.10	580.00	1.69	0.46
No.10	攪乱帯南湧水池	71.10	13.40	226.00	74.40	11.20	1000.00	11.70	0.45
No.11	C水路地すべり地末端	26.60	8.82	72.80	18.30	31.30	130.00		
No.12	展望台西湧水池	26.60	7.14	102.00	42.70	9.10	480.00	4.90	0.17
No.13	BV48-14	17.80	3.36	68.00	21.30	3.80	290.00		
No.14	BV43-31	40.00	6.93	128.00	57.50	13.60	690.00		
No.15	BV43-27	200.00	17.60	362.00	65.60	19.10	1740.00		
No.16	BV54-1	66.70	20.20	404.00	233.00	20.00	2590.00		
No.17	BV54-2	55.60	10.50	336.00	113.00	7.40	1360.00	71.70	0.17
No.18	BV54-3(-2m)	24.40	5.88	22.30	5.40	3.20	15.10		
No.18'	BV54-3(-25m)	26.70	6.09	20.40	4.90	3.20	12.00		
No.19	A水路 BV54-4 脇	37.80	6.51	223.00	83.80	4.30	1050.00		
No.20	BV54-4	55.60	16.60	424.00	158.00	6.50	1920.00		
No.21	BV54-5	31.10	6.72	185.00	62.60	2.70	820.00		
No.22	攪乱帯中央湧水池	35.60	7.56	208.00	76.80	4.30	1120.00	122.00	0.10
No.23	BV54-6	97.80	13.70	215.00	51.20	2.20	910.00		
No.24	土塊流動帯北端湧水池	33.30	3.78	40.00	15.00	50.90	87.90		
No.25	泥流帯中央湧水池	48.90	8.82	215.00	75.00	5.80	920.00		
No.26	BV54-8	200.00	22.50	424.00	142.00	5.60	2320.00		
No.27	BV54-7	60.00	14.50	310.00	77.50	3.40	1150.00		
No.28	土塊流動帯中央湧水帯	33.30	12.00	215.00	72.50	9.80	1070.00		
No.29	圧縮亀裂帯北湧水池	33.30	10.90	170.00	56.30	11.30	830.00		
No.30	攪乱帯北湧水池	35.60	11.30	181.00	60.00	10.80	890.00		
No.31	新滝沢川水路	40.00	7.78	204.00	94.20	11.20	936.00	7.40	0.04
No.32	6号ケーソン脇湧水池	30.40	6.44	115.00	54.20	12.00	429.00	11.80	0.19
No.33	中部ブロック湧水池	26.20	6.00	136.00	61.40	10.30	621.00	0.10	0.01
No.34	2号トンネル出口	23.50	5.11	88.00	34.20	20.70	338.00	2.76	0.00

(5) 集水井の効果判定調査

1979・1980年（昭和54・55年）の二次的地すべり地帯における調査結果を受けて、展望台上方の斜面で2基の集水井が掘削された。この時に集水井の施工がどのような水位低下をもたらすかについての調査が55-1集水井について実施されている。

調査は、集水井の施工位置上方にオールストレーナーの地下水位観測孔を設け、その地下水位を集水井施工の4ヶ月前から、工事完成3ヶ月後まで測定する方法で行われている。掘削された集水井の構造と地下水位観測孔の位置・地質は図4-28・4-29に示す。

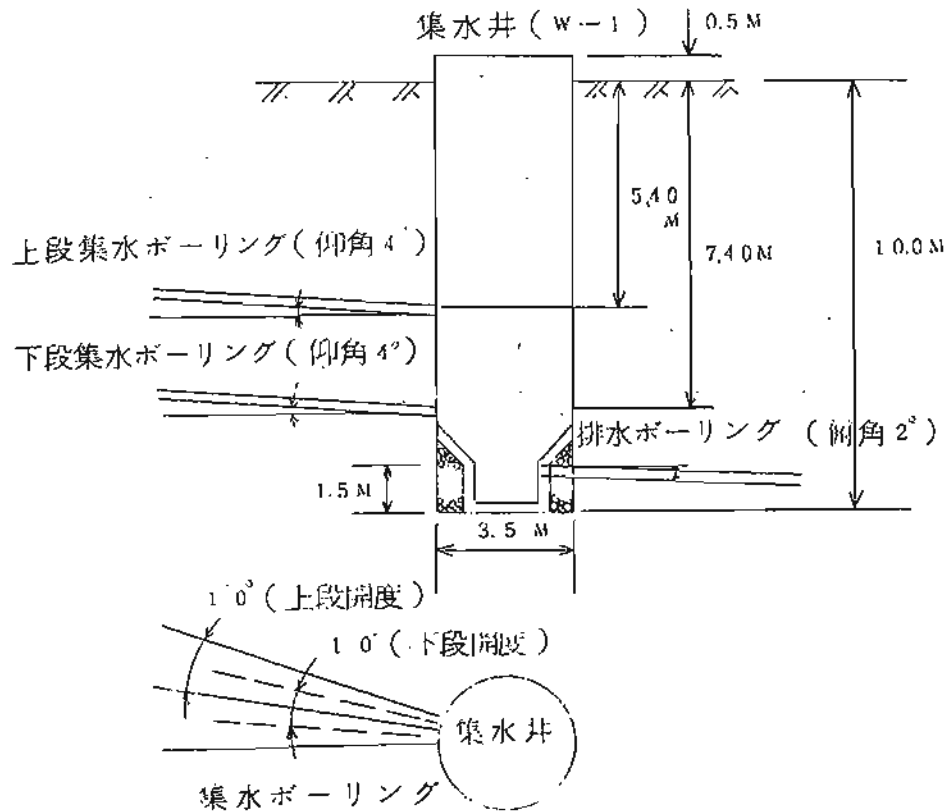


図4-28 55-1 集水井の構造

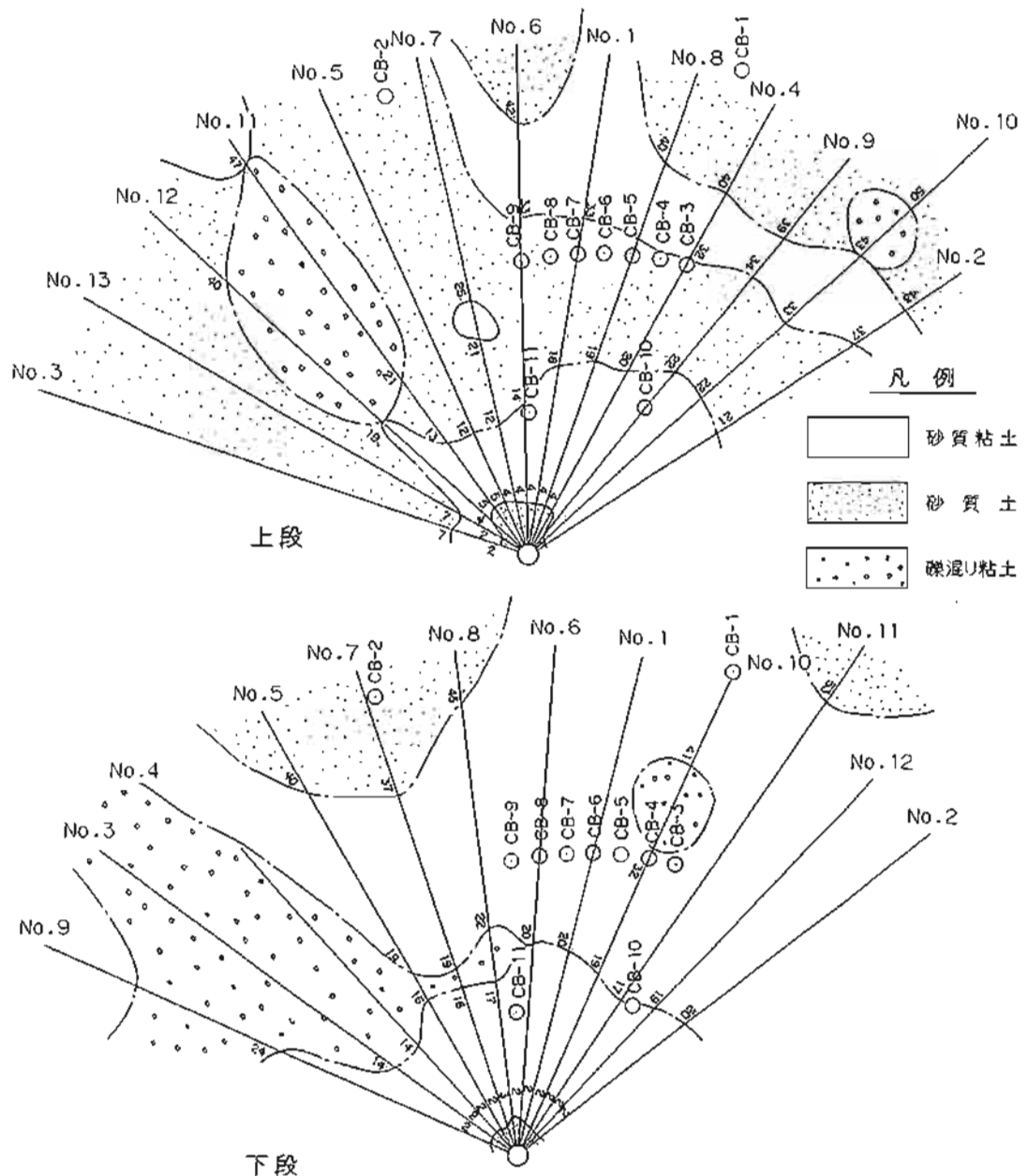


図 4-29 1号集水井の地質と観測孔の位置

表 4-16 ホーリングNo4 コア浸出分析結果表

No.	上段							下段						
	試料長 (m)	掘削長 (m)	砂質粘土 (m)	砂質土 (m)	砂質土 (g/min)	掘削日	備考	試料長 (m)	掘削長 (m)	砂質粘土 (m)	砂質土 (g/min)	掘削日	備考	
上段	1	50.0	51.1	32.1	19.0	-	4.0	4/22						
	2	50.0	51.1	26.0	25.1	-	7.0	4/18	DP使用					
	3	50.0	51.2	5.0	46.2	-	3.0	4/30~5/1	DP使用					
	4	50.0	51.0	24.0	27.0	-	7.0	4/20~4/21						
	5	50.0	51.2	7.0	44.2	-	70.0	4/25	DP使用					
	6	50.0	50.7	31.7	19.0	-	3.0	4/22~4/23						
	7	50.0	51.0	12.0	39.0	-	30.0	4/23~4/24						
	8	50.0	51.0	23.0	28.0	-	4.0	4/21~4/22						
	9	50.0	50.9	26.0	24.9	-	5.0	4/19~4/20	DP使用 不足分増進孔					
	10	50.0	60.6	31.0	29.6	7.0	4.0	4/18~4/19	DP使用					
	11	50.0	51.2	12.2	13.0	26.0	90.0	4/25~4/27	DP使用					
	12	50.0	51.3	15.0	15.3	21.0	60.0	4/27~4/28	DP使用					
	13	50.0	51.1	5.0	46.1	-	3.0	4/29~4/30						
計	650.0	67.34	250.0	369.4	54.0	210.0	4/18~5/1							
下段	1	50.0	51.1	49.1	2.0	-	30.0	3/15~3/17						
	2	50.0	50.8	48.8	2.0	-	40.0	3/18~3/19						
	3	50.0	50.7	36.7	2.0	12.0	5.0	3/20~3/25						
	4	50.0	40.0	12.0	2.0	26.0	30.0	3/26~4/15	DP使用 鋼管 3層目にく40mm径上げ					
	5	50.0	49.1	35.0	14.1	3.0	5.0	3/28~3/30						
	6	50.0	41.0	39.0	2.0	-	40.0		50mm径の鋼管 と同時にVP管9.0m径出る					
	7	50.0	50.6	32.0	15.6	3.0	7.0	3/31						
	8	50.0	51.0	38.0	8.0	5.0	7.0	4/1~4/2						
	9	50.0	51.0	23.0	2.0	16.0	3.0	4/3						
	10	50.0	51.0	40.0	2.0	9.0	30.0	4/8~4/9	DP使用					
	11	50.0	60.0	51.0	9.0	-	43.0	4/10~4/11	不足分増進孔					
12	50.0	51.0	49.0	2.0	-	30.0	4/11~4/13	DP使用						
計	600.0	587.3	453.6	59.2	74.0	250.0	3/15~4/15							

集水井の施工に伴う観測孔の地下水位変動を図 4-31 に示す。集水井筒の掘削が行われていた 1980 年（昭和 55 年）12 月から 1981 年（昭和 56 年）1 月の間は、特に地下水位の低下が認められていない。ところが、下段の集水ボーリングの開始（1981 年 3 月中旬～4 月中旬）とともに各観測孔の水位は急激に低下し出す。また、上段の集水ボーリングを行っている間（1981 年 4 月中旬以降）にさらに地下水位の低下のみられる観測孔もある。地下水位の低下量は、集水井に近い CB-10 で最も大きく、6m 以上の値を示している。しかし、集水井から同距離にある CB-11 では 2.4m 程度で約半分程度である。CB-10・11 より集水井から離れる CB-3～9 では、1～4m の水位低下を示している。この部分でも CB-8・9 の地下水位低下量が他の孔に比べやや小さい。集水ボーリングの先端にある CB-1・2 では水位低下量が 1.2m 前後と最も小さい。しかし、それより先にある CB-12 では 3.67m とかなり大きな水位低下量を示している。このような水位低下を集水井と観測孔の位置関係で示すと図 4-30 のようになる。

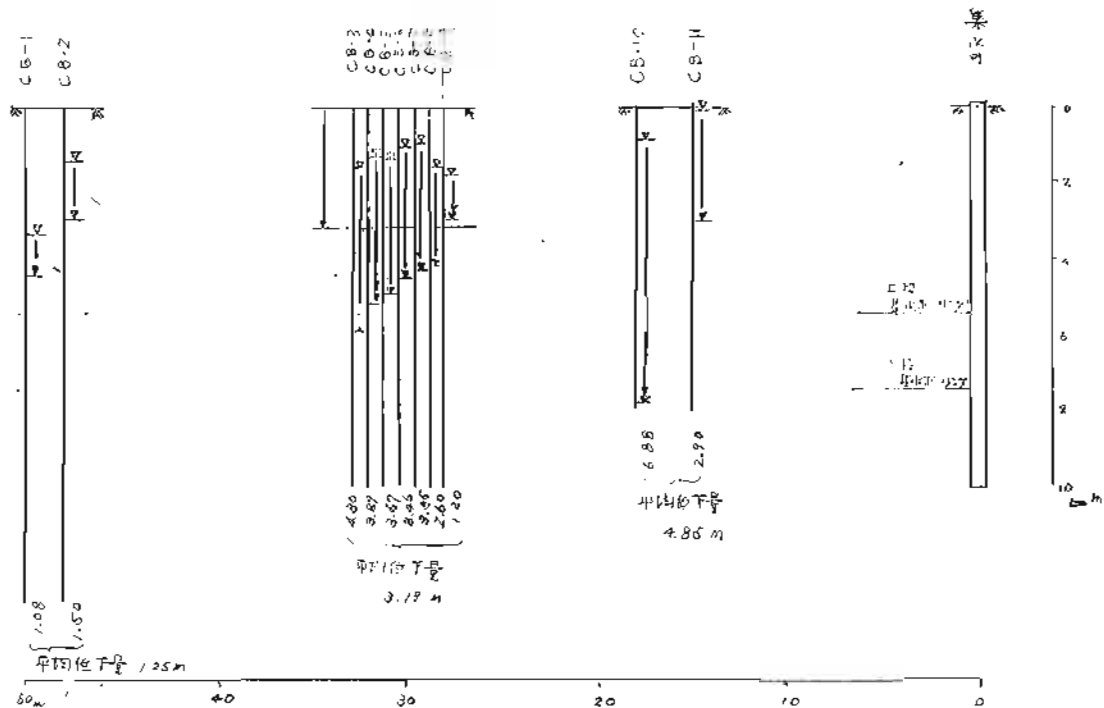


図 4-30 観測孔の位置と地下水位低下量

表 4-17 工事前後の地下水位一覧表

		CB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
工事前	最高水位	水位		0.45							0.65			10.08
	水位	月日		10/20							10/21			11/4
工事前	最低水位	水位	4.71	1.61	2.39	2.42	2.30	1.92	1.59	1.50	1.40	1.70	0.46	0.42
	水位	月日	8/30	8/30	8/23	8/30	8/23	8/30	8/30	8/12	8/11	8/11	8/30	8/30
工事中	最高水位	水位	3.22		1.20	0.90	0.80	0.65	0.84	0.61		+0.01	+0.10	
	水位	月日	3/24		3/17	3/17	3/16	3/17	3/9	3/17		12/7	3/15	
工事後	最高水位	水位	4.10	2.40	5.73	5.00	4.70	4.15	3.89	3.86	2.65	>7.77	2.36	2.92
	水位	月日	5/11	5/20	5/23	5/20	5/20	5/26	5/20	5/20	5/26		5/14	5/14
工事後	最低水位	水位	4.46	2.98	6.26	5.53	5.19	4.69	4.49	4.39	3.20	>7.77	5.77	4.92
	水位	月日	8/24	6/17	6/24	6/24	6/24	6/24	6/24	6/17	5/3	4/27~	6/17	6/10
工事前最高水位			1.42	2.53	2.06	4.66	4.39	4.04	4.49	3.78	2.05	>7.78	5.87	5.00
工事後最低水位														
工事前最低水位			+0.61	0.79	3.34	2.58	2.40	2.23	2.40	2.36	1.25	>6.67	1.92	2.50
工事後最高水位														

一方、地下水位低下量の平面的分布をみると集水ボーリング範囲内の水位低下は図 4-32 に示すように、必ずしも同心円状になっていない。CB-7 と CB-8 号孔の間に水理的な境界があって、低下状況が異なったためである。つまり、南側 (CB8~9 側) は地形的な凹地となって通常はここに向かう地下水の流れがあり、沢部へ集まる地下水の量が多いため相対的に小さくなり、地下水位低下量が小さくなったと考えられ、北側 (CB-3~7 側) の地形は凸地状になっているため地下水の補給量が少なく、水位低下量が大きくなったものと解釈される。この点については、集水井工事の前後による地下水流向の変化は図 4-33 の地下水面図を比較するとよく判断できる。

集水井筒掘削中は、地下水位低下がみられていないことから、井筒そのものの排水効果は周囲のごく狭い範囲にしか現れないことが判明し、集水ボーリングの施工により初めて広範囲の地下水排除が可能となることを示している。また、集水ボーリング施工範囲内での水位低下量はボーリング先端に近づくに従い小さくなっている。これはボーリングの先端になるに従い、ボーリングの水平間隔が大きくなっていることが原因の一つと考えられる。集水ボーリングの先端より、さらに先まで地下水低下域が発生していることも明らかとなった。

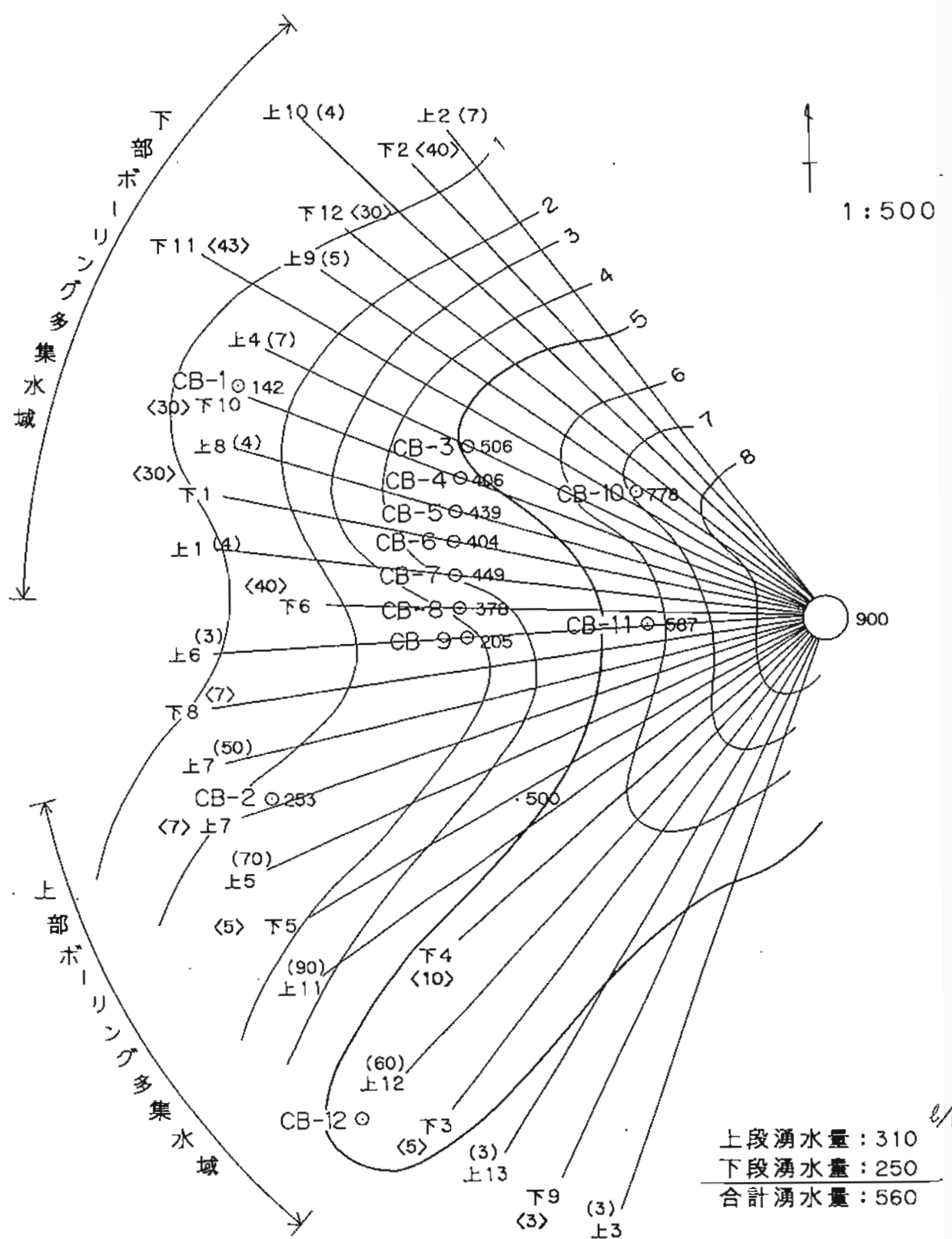


図 4-32 工事前～工事後の最大推移低下量と当初湧水量



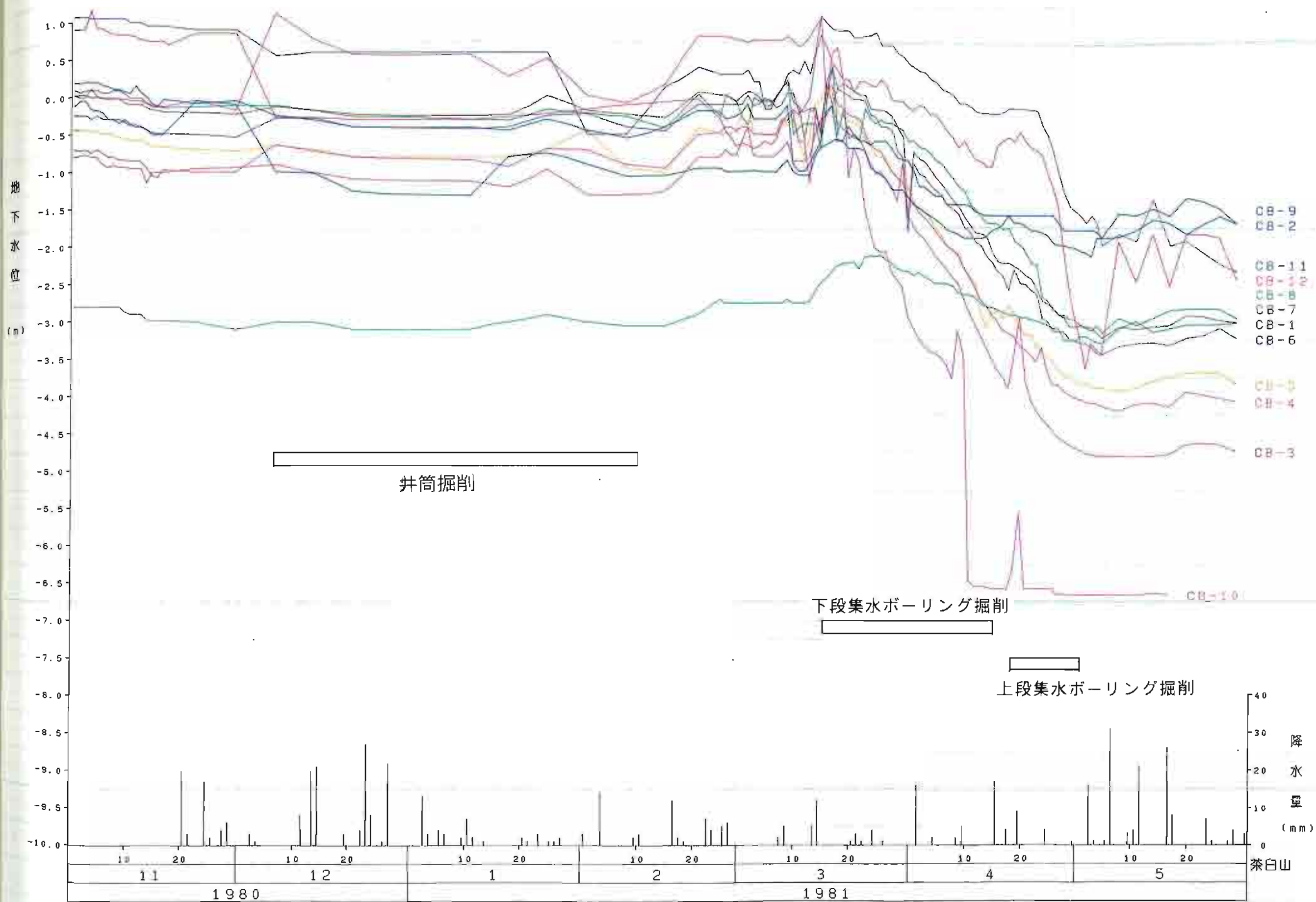
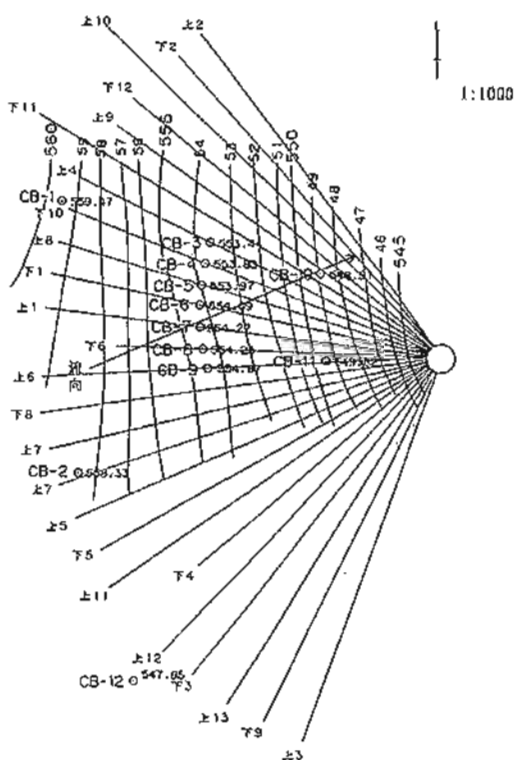


図 4-31 集水井施工に伴う地下水位の変動



工事前 (1981年3月末)



工事後 (1981年6月末)

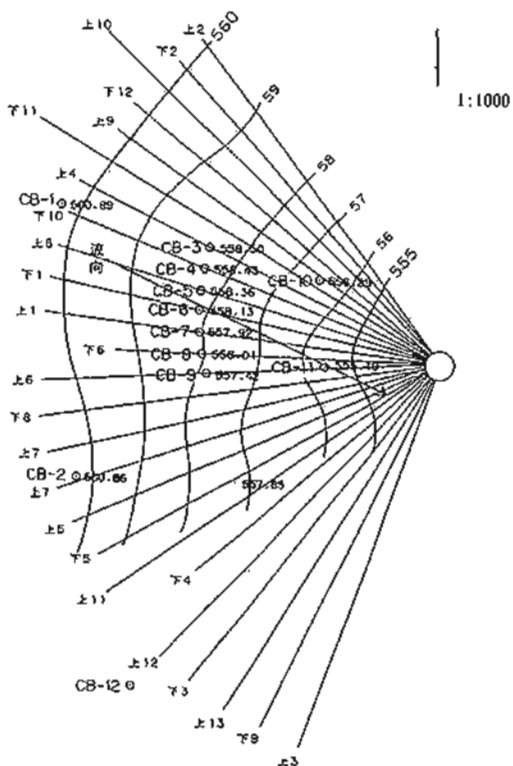


図 4-33 工事前後の最高水位・地下水位面

#### 4-6. 地すべり機構の特性

以上、記述した諸項目をまとめて茶臼山地すべり機構の特性を示すと次のとおりである。

##### a) 岩盤地すべりとしての性質をもつこと

この地すべりの上部地すべり発生地帯は、明らかに岩盤地すべりとしての性質をもっている。すべり面は裾花凝灰岩層直上部のベントナイト質泥岩層、および垂炭層付近に主として形成されるため、この地層の構造（走向・傾斜）に規制された地すべり断面ができ、移動も特定の方向を持たされている。同時に地すべりの輪郭も、一部はこれによって規定されている（左岸側の地すべり界など）。

なお、右岸側の側面滑落崖および上部の滑落崖は直線状の形態を示し、これが交錯している。しかし、これらの位置が地質的な断層とは一致しておらず、むしろ岩盤内に地殻運動の影響で形成されている潜在的弱面に規制されている可能性がある。これらの実態解明は今後の研究課題である。

##### b) 地すべり面が深く、それが滑動にともないさらに深くなったこと

地すべり発生地帯における地すべり面は最深部で 40m に達しており、地すべり発生前の山腹からみると 80m に達する。そして、地すべり面が深いという特性は地すべり発生当初からあったものと考えられる。これは発生の状況からも推定されるが、地すべり規模が地すべり発生地帯においては、当初から現況に近いものであったと考えられることから推定される。しかし、すべり面が順次深くなるという性質を全く持たないわけではない。

1960 年（昭和 35 年）以後、目立ってきた新規亀裂地帯の拡大に呼応して地すべり面は A-A 測線から下方で裾花凝灰岩をもえぐる形で深化しているように見られる。このような地すべり面の深部への発展は過去においてもあっただろうし、これからも継続する可能性がある。この点は地すべりの発達・発展の予測と関連して問題になる所である。

##### c) 地すべりの上部は大きなブロックとして段階的に拡大をしてきたこと

地すべり発生地帯では、地すべり範囲が漸移的に拡大するのではなく、大きなブロックとして拡大している。その最大のものは三角山西方のブロックで、この滑落が 1944 年（昭和 19 年）以後における活動活発化の原因となっている。

下方への土塊移動には、活発化する時期と次第に安定化する時期が交互にあらわれている。活発化する時期は、ブロック状に拡大した上部岩塊が横移動をおこしてきた時期と一致する。拡大したブロック状岩塊の移動は、初めは中抜けと沈下を主体にし非常に緩慢であるが、やがて横方向移動をおこすようになる（図 4-34）。

地すべり発生地帯全体としては、地すべり面の浅い左岸側では地層構造に支配された平面滑りが主体となり、右岸側ではこれに回転すべりの要素が加わっている。

##### d) 山体の地塊が善光寺地震を直接のきっかけとして不安定化したと見られること

古い記録からみると、C-C 測線から下方の滝沢川の旧流路沿いでは古くにも地すべりがあったと見られ、旧地形や地質状況からも裏付けられる。しかし、B-B 測線から上方の茶臼山南峯東山腹では、善光寺地震による地下水系の乱れがきっかけとなって不安定化したものと考えられる。

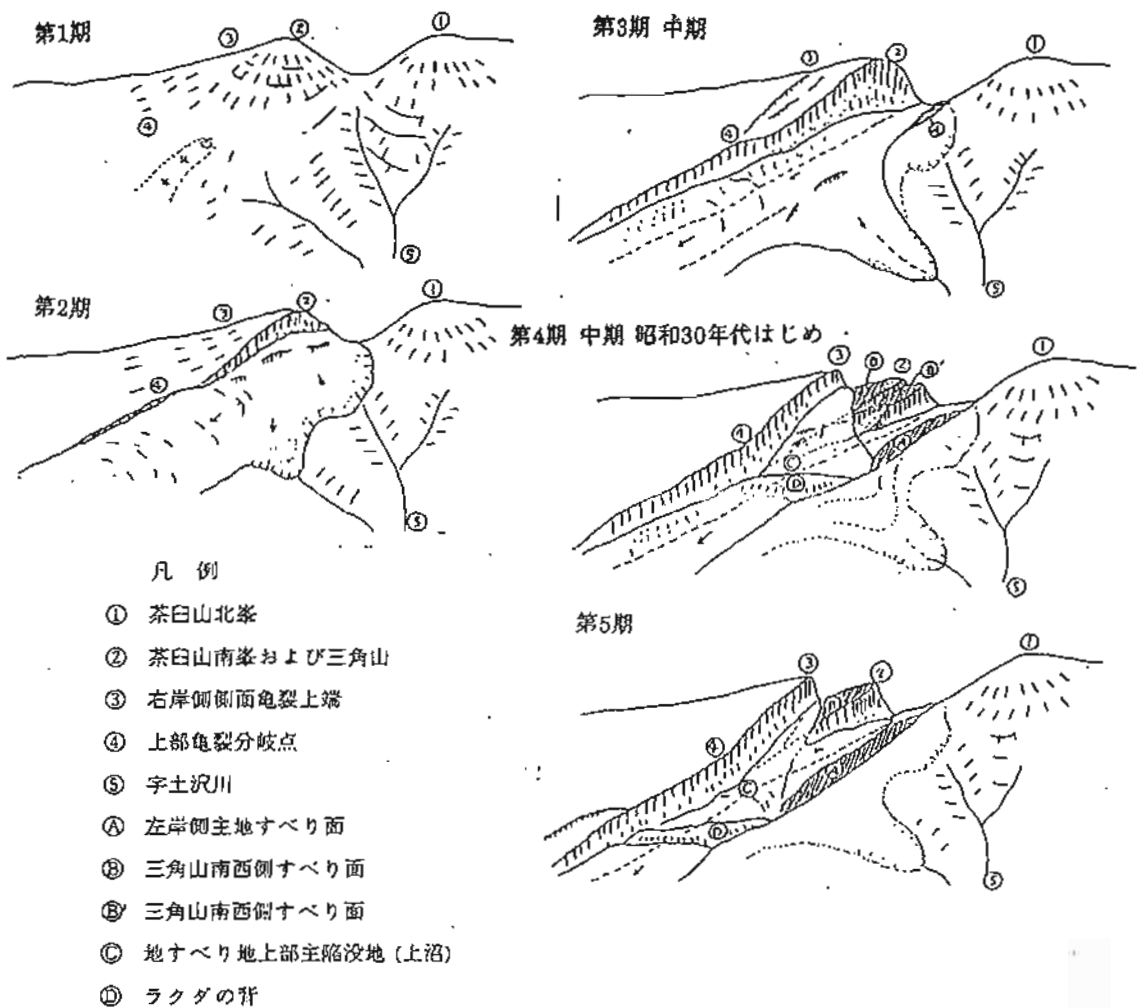


図4-34 茶臼山地すべり地最上部の変せん模式図

e) 地下水の性質は特異なもので貯留性が高いこと、また一部では地すべり地外から地下水流入があること  
 地すべり地内の地下水は全般に酸性が強く、 $SO_4^{2-}$ をはじめとする溶存成分が多い。これは土塊の粘土化を化学的に早め、地すべりを助長する重要な一要素になっている。そして、この特異な水質は地すべり地内で地下水が亜炭層や凝灰岩中の黄鉄鉱と接触してできたと考えられる。

地下水は地すべり地内では流下がかなりおそく、土塊内各所で貯留されやすい性質をもっている。地下水の流下量はそれほど多くないが、貯留性の強いことが極めて息の長いこの地すべりの移動特性を生み出したと考えられる。

トンネル排水量の観測値から見ると地すべり発生地帯上部の地下水は地すべり地域内に降った降雨が浸透したものと考えられるが、地すべり発生地帯下部では右岸側の地すべり地外から、ほぼ旧滝沢川の流路に沿った地下水流入があると考えられる。

f) 二次的地すべり地帯では埋没谷の形成と末端部における扇状の押し出し地形の形成が行われていること  
二次的地すべり地帯の地塊は地すべり発生地帯から押し出された地塊と従来から不動島周辺などにあった旧地すべり地塊の浅層部分が再滑動させられたものが混合している。そのため、地すべり発生地帯の地すべり土塊中にはない安山岩転石などが混入している。

なお、山新田集落の乗る尾根状地は旧地すべり地塊からなり、これは有旅方面から、ここにあった古い谷を埋没しながら押し出し、堆積したものとみられる。その埋没地塊の側面に形成された。旧滝沢川を今回の地すべり地塊が埋没しており、下流部の地形形成は複合的でありかなり複雑である。

以上、記述した地すべりの構造や特性は、長年の調査と地盤変動観測の結果、明らかになってきたものである。このような、大規模な岩盤地すべりの立体的な内部構造や発展経過を、事前に推定することは非常に困難である。

茶臼山地すべりを研究した多くの先人も、このような点では明確な判断が得られず、多くの作業仮説を提起している。それらは今日の目で見ると誤ったものが多いが、これもやむを得ないものである。

先人の仮説のうち、主なものを次に紹介する。

八木貞助氏（1951）は、基盤岩が地すべり発生地帯の中で小さな向斜構造をなしており、その軸部に地下水が集中するため、岩盤の軟弱化が進み、その影響で茶臼山南峯の東南下方斜面に谷ができたと推定している（図 4-35）。この谷へ向かって周囲の地塊がすべり、その後の大地すべりへ発展したとするものである。基盤岩に上記のような向斜構造がなかったことは、ボーリング調査の結果明らかになっており、また八木氏の想定されたような谷が存在しなかったことは、現地の古老の証言からも裏付けられる。

次に鳥山武雄氏（1960）の説を紹介すると次のとおりである（図 4-36）。鳥山氏も茶臼山南峯の東斜面（地すべり発生地帯）の中に西北から南東へ流下する小さな沢があり、その左岸側でまず地すべりが発生し、それが拡大し、また沢の右岸側へもくいで行って、今日の大地すべりに発展したと考えた。図 4-36 は鳥山氏が示した発生・発展の想定図であり、断面図の（c）の状態から、（d）・（e）を経て（f）の状態になった。そして、地すべりが継続する限りは、右岸側へ漸移的な地すべり地の拡大が今後も続くと想定したものである。現在の地形・地質・地すべり断面から見ると上記のように考えると自然のように見えるが、現実の地すべり発達状況を、昭和初期の資料（平面図・写真・古老の証言）から考察すると、そのようなものではないことがわかる。

なお、地すべり発生前の地形がどのようなものであったのか復原することは、詳細には困難であるが、古老の証言を整理すると概略的なものは復原可能である。このような作業によって作成したものが 図 4-37 の古地形図である。

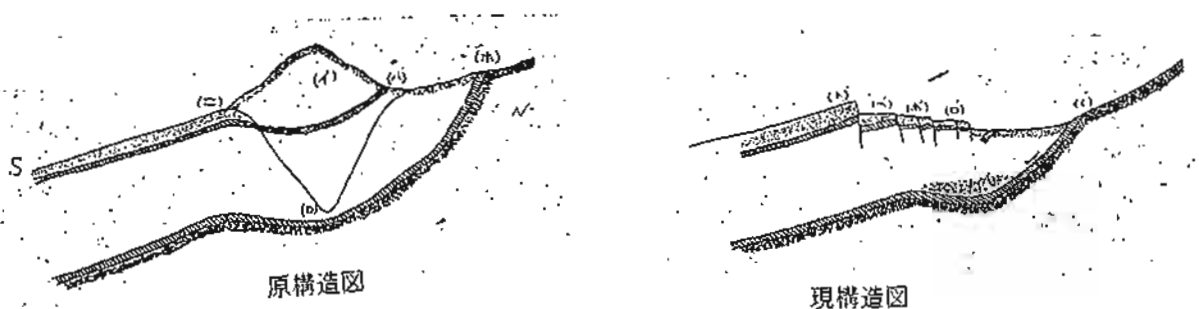


図 4-35 八木貞助氏の推定した地すべり発生状況図

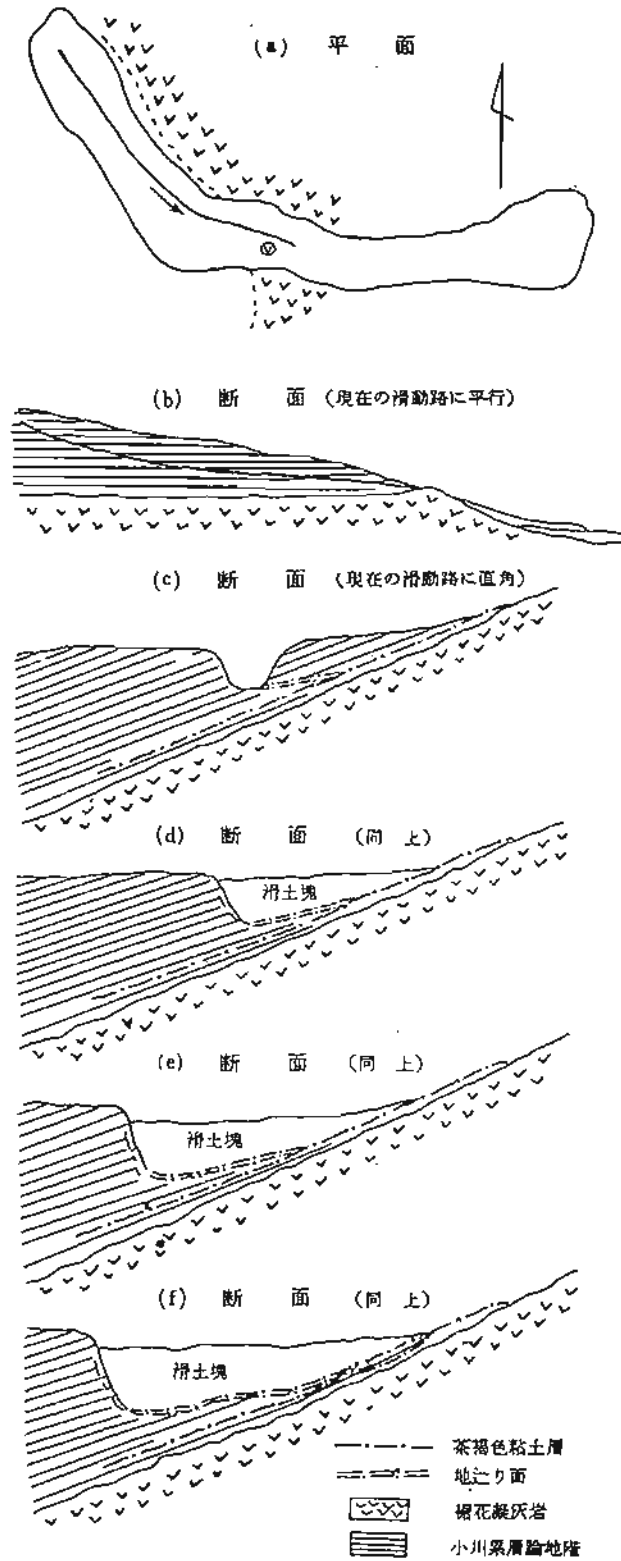


図 4-36 鳥山武雄氏の推定した地すべり発生・発展図



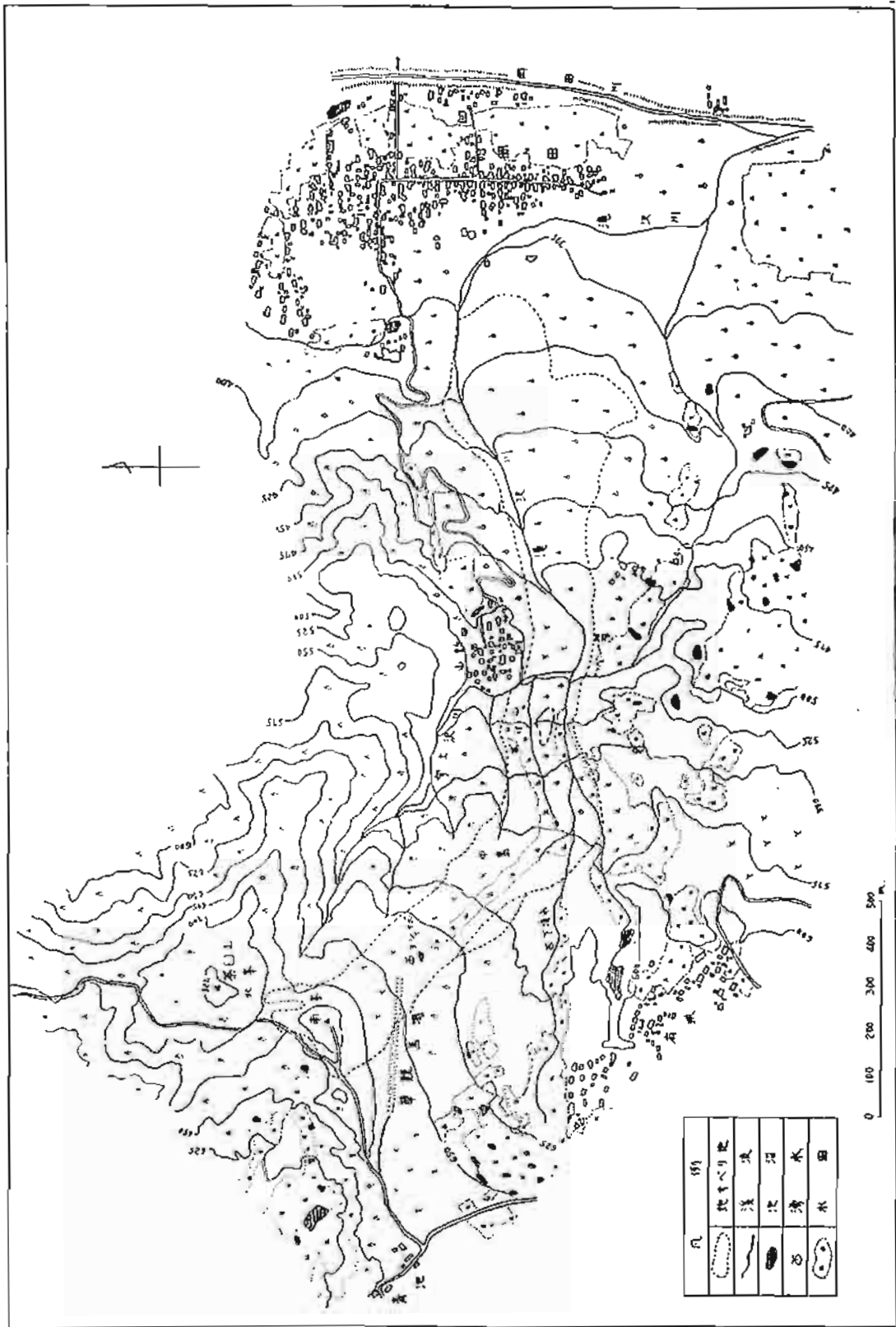


図 4-37 地すべり発生前推定地形図

## 5. 防止対策

### 5-1. 防止対策の歴史

茶臼山地すべりの対策工事は昭和の初めから連綿として行われており、既に 60 数年を経ている。この間、それぞれの時代に最善と考えられたいろいろな工事が行われ、常に長野県の地すべり対策工事の中心課題となってきた。とりわけ 1965 年（昭和 40 年）夏から 2 年半にわたり有感 61,000 余回に及ぶ地震の発生をみた松代群発地震の時には移動量の増加もあり、軌道に乗りかけた防止工事に大きな懸念を投げかけられたものである。その後ねばり強い努力の甲斐あって、近年移動量は著しく減少し、現在はほとんど安定化したと言える状態になっている。ここでは、現在まで行われてきた諸工事の概要について記す。

#### (1) 昭和初期までの地すべり対策

この地すべりが本格的に始まったのは 1884~1885 年（明治 17~18 年）頃からであるが、明治から大正にかけての活動は現在区分される「地すべり発生地帯」における山間の耕地と山林に被害があった程度で、まだ世間の注目するところとはならず、1900 年（明治 33 年）砂防指定地に編入され、下流の滝沢川に若干の堰堤を施工しただけで本格的な対策工事は行われなかった。しかし、地すべり土塊が「二次的すべり地帯」に押し出し、不動島付近の土塊も動きはじめ、山新田部落に危険が迫るようになり、本格的な対策に取り組まざるを得なくなった。

まず、山新田付近から下流の滝沢川沿いの泥流対策として 11 基（昭和 5 年 9 基、同 6・8 年各 1 基）の砂防堰堤が作られた。また、1932~1933 年（昭和 7~8 年）には不動島の下方からその両側をとって現在の A-A 測線付近に至る導水工が設けられた。これは地表から深さ 2~6m の溝を掘り垂鉛引鉄線蛇籠を 2~3 段に伏設したもので、地すべり発生地帯の地表水と浅層地下水の集排水が目的であった。これはその後の土塊移動で変形され、数カ月でその機能を失った（写真-19~24）。また、滝沢川沿いの堰堤群も小規模であったため、その後の移動土塊にのまれたり、破壊されていった。

#### (2) 昭和 10 年代の対策工事

滝沢川沿いに押し出した地すべり土塊は 1930~1933 年（昭和 5~8 年）頃から 1939 年（昭和 14 年）頃にかけて非常な速度（昭和 7 年 8 月~10 年 3 月、年平均 93m）で下流におよび、全てを埋没しつくした。

当時、滝沢川は C-C 測線の上流で地すべり地内へ入り、また宇土沢川は山新田部落の南西で地すべり地内へはいつていたため、この流水が土塊を泥流化し、すべりを助長していた（図 3-2）。この対策として滝沢川は C-C 測線上方から地すべり地の南へまわし、不動島の南方急坂部には堰堤を設け、三軒家付近から大きく南方に迂回させた。また、宇土沢川は山新田部落の上方から部落内を暗渠で通し、一度は部落下方で滝沢川に入れたが、その後部落中央から北にまわし、小溪流カニ沢にあわせて岡田部落上方で滝沢川に合流させた（図 3-3）。これらの新水路はコンクリート、または石積で兩岸を固め、一部は底張りコンクリートを施工して漏水防止をはかった。

#### (3) 昭和 20 年代の対策工事

昭和 10 年代の後期には地すべりの速度が次第に落ちてやや愁眉を開いたが、20 年代に入ると再び移動が活発化したため、改めて建設省土木研究所に委嘱して地すべり機構の調査を行い、その結果に基づいて対策工事を本格的に始めた。

まず、地すべり発生地帯では 1949~1950 年（昭和 24~25 年）に B-B 測線の南西にあたる地すべり地外から北方の地すべり地に向けて排水トンネルを掘削した。これは延長 167m、上幅 1.5m、下幅 2.0m、高さ 2.0m のトンネルで底に U 型水路を設け、支保工は木材を使い、また施工後は中に玉石を詰めた。地すべり対策用に施工されたトンネルとしては初歩的なもので、南方の有旅方面から地すべり地内に流入する地下水を排除すると共に地内の水も引き出そうとしたものである。しかし、トンネル先端は地すべり面より高い位置であ

ったことと地すべり速度が大きかったため、地すべり地内へ入ることができず、地すべり地内の水は排出できなかつた（写真-38~40）。

二次的地すべり地帯では土塊が岡田部落に迫り、出水時に泥流化し土石流伏に押し出すことが懸念されたため、滝沢川に従来とは違った規模の大きな堰堤（岡田堰堤、高さ 8.0m、長さ 40m）を 1949 年（昭和 24 年）に築造した。これは地すべり地内でしかも泥流に正面から対抗するため断面を大きくし、水通し孔を大きくすると共に、上流側に鉄線蛇籠を伏設し、地下水がダムアップしないように配慮したものである。

上部の排水トンネル施工後は一時移動速度も落ちたかに見えたが、岡田堰堤施工当時、再び活動が活発になり、この堰堤も竣工後 11 ヶ月で完全に地すべり土塊に埋没した（写真-37）。泥流が堰堤を乗り越える時、土塊はかなりの高さに盛り上がり、水通しに縦の亀裂がはいったが倒壊はまぬがれ、後にボーリング調査した結果では堤体の移動は認められなかつた。

また、堰堤付近の地すべり面はその影響で浅くなり、埋没はしても堰堤基礎地盤が比較的硬かつたこと、堰堤規模も以前より大きかつたことから、移動土塊にブレーキをかける働きを果たしていたことが認められた。その他、地すべり発生地帯の南側で地外からの地下水流入をカットする目的で横孔排水ボーリングを試みた。しかし、地すべりは依然として止まらず刻々と岡田部落に迫るので、1952 年（昭和 27 年）からは滝沢川下流に堤防を築き泥流による被害に備えた。この堤防は前面に遮水用のコンクリート壁（厚 50cm）を設け、地下水は堤防に沿って沈砂池方面に向けるよう配慮した（写真-52・69）。

#### （4）昭和 30 年代の対策工事

1955 年（昭和 30 年）には地すべり土塊が上記の堤防に達し、更にこれを乗り越えようとした。そこでやむなくこの土塊を転用して堤防幅を増し、その強化を計った。一方、排泥路と称して山新田南方から沈砂池に向けて地すべり土塊内に水路を設け、地表水を南方に導くように努めた。

また、1957 年（昭和 32 年）からの地すべり再調査の結果では、地すべり発生地帯の B-B、A-A 測線間に地下水が多く、しかもこれが 20m 以上の深度にあり、地すべりを著しく助長しているとみられたので、1961 年（昭和 36 年）から集水井筒と深井戸を掘削し、水中ポンプを入れて地下水の集排水を試みた。

先ず 1961 年（昭和 36 年）には二沼に鉄筋コンクリート井筒の沈下をはかつた。ここでは、地すべり面が深度 36.6m にあつたので 20m 以上を目標に沈下を目論んだが、深度 10m を超えてからは井筒内の土を掘削すると地下水が周囲の土砂を井筒内に押し込み、地表では井筒周辺の土砂が大きく摺鉢型に陥没した。さらに西上方の山腹まで沈下を誘うように見えたので止むなく工事を中止した。この付近では深度 15m までは砂岩と砂が主体で、ここに地下水が多かつたため地すべり地では稀なこのような砂の流動化現象がおきたものとみられる（写真-63）。

この結果、考えられたのが深井戸ポンプによる深部からの排水であり、茶臼山地すべりの移動速度を大幅に減少させ、その後の対策工事を容易なものにさせる端緒となつた工法である。即ち 1962~1964 年（昭和 37~39 年）にかけて実施したこの工法は、先ず削井機で径 50~60cm、深さ 30~35m の井戸を掘り、これに径 30~35cm の有孔鉄管を挿入し、管内の深部に水位の上下によって作動する水中電動押し上げポンプを設置して、深部地下水の集排水を行うものである。No.1~3 の深井戸がこれで、1963 年（昭和 38 年）12 月から揚水をはじめ、故障が多い 3 号井を除き、1・2 号井ではそれぞれ毎分 35~45ℓを排水し得た。1963~1964 年（昭和 38~39 年）には今までにない移動速度の低下をみた。しかし、1965 年（昭和 40 年）には移動が再び活発になり、対策についても再検討が必要になつてきた。

## 5-2. 昭和40年代以後の防止対策について

### (1) 深井戸工、集水井筒工、ライナープレート集水井工

茶臼山の地すべり対策にあたっては第1段階として年間数mに及ぶ移動量を少なくとも年間1m以下におさえることが必要であった。そして、移動速度と地下水位・降水量との関係をみると両者の相関がかなり密接であるので、まず地下水位の低下を目標にした。また、地すべり発生地帯下部には池沼が多く、攪乱帯の土塊の泥ねい化も地下水によりひきおこされているため、まず地すべり土塊内の地下水を排除しようと試みたのである。

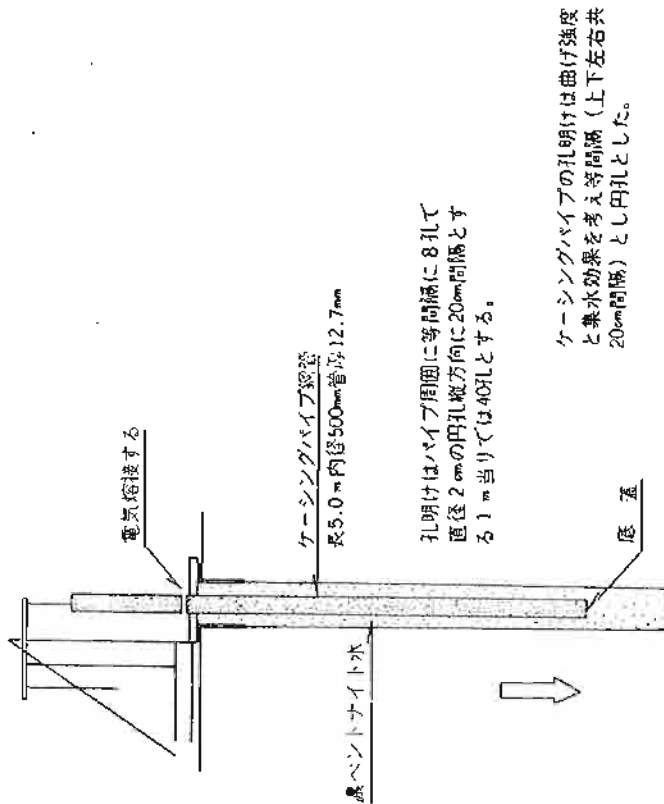
対策工法としては1962年(昭和37年)以来進めてきた成果から、最も有効とみられる深井戸工の数を増すことにした。

1966~1968年(昭和41~43年)の間に地すべり発生地帯に13ヶ所(4~16号)の深井戸を施工した。これはそれ以前に実施した深井戸の施工経験と揚水状況を検討して多くの改良を加えた長野県独自のものであり、施工順序は図5-1、構造は図5-2に示した(写真-64・65)。

深井戸の掘削は、パーカッション式の削井機を使用し、重量1.5ton径1.0mのビットを上下して衝撃で土塊を砕き、濃粘土中に浮遊するスライムにしてからベラーで排出する方法をとった。この方法による掘削は、地すべり土塊中に巨礫が多く、硬軟部が混在する場合に有効で、また掘削中孔曲りを絶えず矯正していくので、地すべり土塊の移動に伴う変形が多少あっても施工には支障がなく、茶臼山には当を得たものとなった。

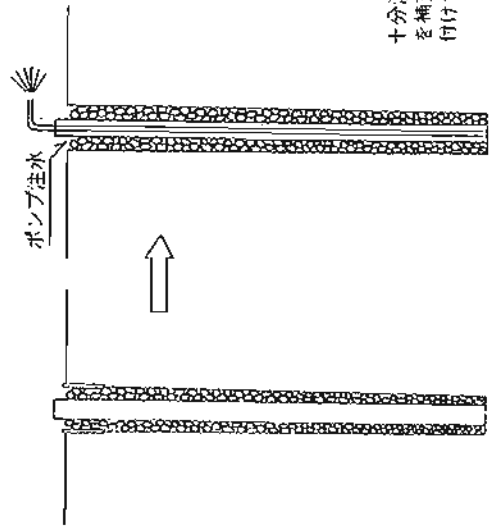
ケーシングパイプは内径500mm、管厚12.7mmの鋼管を使用し、これに直径2cmの孔をあけた。このストレーナー孔のあけ方については、当初砂の流入防止を考慮して、幅2~3mmの細長い溝型としたが、錆のため孔がふさがりため、径の大きな丸穴としたものである。ケーシングパイプの周囲には、フィルター用の砂利を詰めたとしたが砂の流入は阻止できないので、井戸内への流入砂は水と一緒にポンプで排出することにして、ポンプはこの深井戸用に特に考案した空気加圧式揚水ポンプを使用した。これは図5-2に示す構造で加圧タンク内に一定量の水が入れば、地上から圧縮空気が送られて水を排出するようにしてある。

ケーシングパイプ挿入



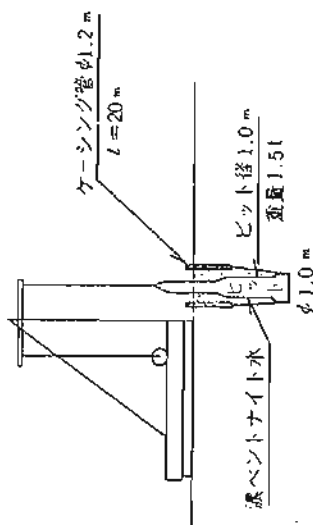
ケーシングパイプの孔明けは曲げ強度と集水効果を考え等間隔(上下左右共20mm間隔)とし円孔とした。

エアリフトによりスライムと粘土水の排出



十分注水し洗浄するフィルター砂利を補充するケーシングパイプに蓋を付けて完成する。

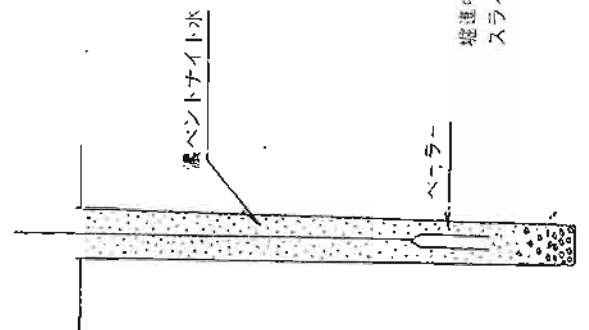
掘削始め



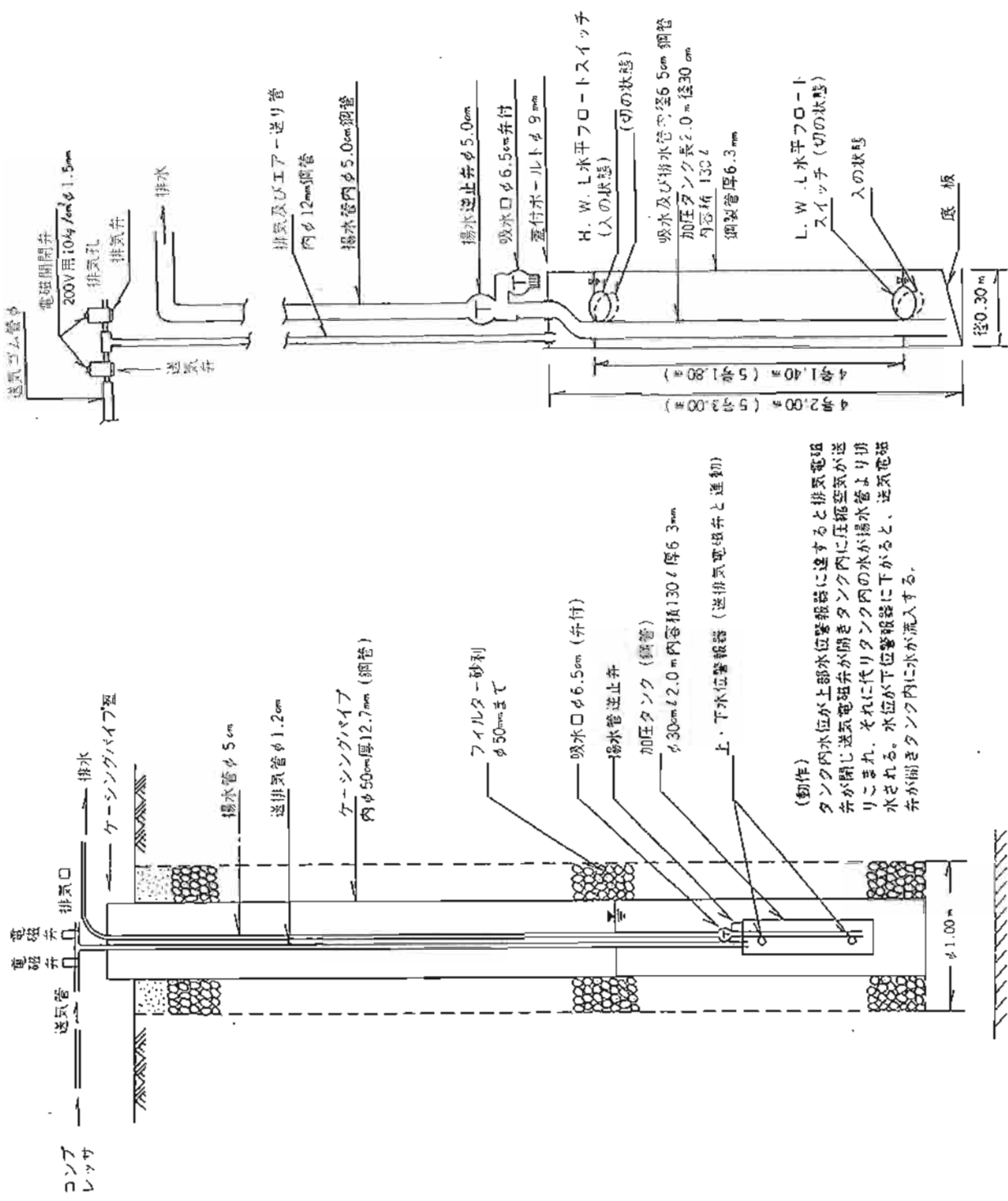
掘削中スライム排出口と孔壁探検のため濃ベントナイト水を使用した。又スライム排出を促進するため時々送気をしてベントナイト水の循環を行った。

掘削速度は茶臼山の場合最低180.6m 最高3.0mである。

ペーラーによるスライム排出



掘削中1回と空削完了時に1回スライム排出する。



作 動

- (1) L.W.L.水平フロートスイッチ切れて送気電磁弁が開きタンク内と外気が通じる。
- (2) 井戸内の水は自圧により吸水口の弁を押上げてタンク内に流入する。タンク内の空気は排気孔より排除される。
- (3) タンク内の水面がH.W.L.に達し水平フロートスイッチが入ると排気電磁弁が閉じると同時に送気電磁弁が開き4.5~6.0kg/cm<sup>2</sup>に圧縮された空気がタンク内に流入する。
- (4) タンク内の水は圧力を受け吸水及び排水管を通り自圧で吸水口の弁を押して閉じ逆止弁を押上げて揚水管より排出される。
- (5) 1~4を繰返す。
- (6) 4号ポンプでは、H.W.L.とL.W.L.の長さを1.40mとしたので1回の排水量は100ℓである。又5号ポンプでは180ℓである。

(動作)  
 タンク内水位が上部水位警報器に達すると排気電磁弁が開き送気電磁弁が開きタンク内に圧縮空気が送り込まれ、それに代りタンク内の水が揚水管より排水される。水位が下部警報器に下がると、送気電磁弁が開きタンク内に水が流入する。

図5-2 空気加圧式揚水ポンプ構造図

このような深井戸工と加圧排水ポンプによる地下水排除は大きな効果をあげたが、この工法にも次のような問題点があった。

- i) 地下水が脈状に連絡し、所々に水槽状に貯留されているため、井戸内の水位を下げて自然流入を待つ方式では、直結している水脈や貯留水を集めることはできるが、他の水脈からの水はとることができない。そのため、影響の及ぶ範囲が小さく、ポンプに余力がありながら広範囲の集水ができない。この傾向は上部の上沼周辺で顕著であった。
- ii) 地下水に鉄分が多く、水酸化鉄が付着し、ストレーナーの孔が次第に小さくなり水の流入がさまたげられ、4~5年経つと集水量が著しく減少してくる。この傾向は1号深井戸（1962年施工）で明瞭に見られ、後に11号深井戸を隣接位置に増設しなければならなくなった。
- iii) ケーシングパイプは、主地すべり面より上部に止めなければならないため、深部地下水の排除は困難である。それにもかかわらず、ケーシングパイプは地すべりのため次第に屈曲して、井戸深部までポンプを挿入できないという現象がおきてくる。
- iv) 井戸内への流入砂により井戸が次第に浅くなり、ポンプにも障害が出てくる。

以上のような問題、特に i) 集排水の効率についての問題があるため、地すべり発生地帯上部での深井戸工の施工は1968年（昭和43年）で打ち切って、その後は集水井筒工に切り替える方針をとることにした。幸い1966~1968年（昭和41~43年）に連続して設置した13基の深井戸から強力で排水を行った結果、著しい移動量の減少がみられ、特に地すべり発生地帯上部の安定化が認められたので、上部から集水井筒の施工を計画した。

この地すべり地では地すべり土塊の浅層部に軟質の砂が多いため、ライナープレート方式の掘削は至難であった。このため、ニューマッチクケーソン工法を採用し、先ず1969年（昭和44年）には上沼に集水井筒1基、1970年（昭和45年）に1基、またこれらの中継井としてライナープレート集水井1基も施工した（写真-66・67）。

施工に当たっては、主すべり面より上層の地すべり土塊中にこれを埋設することとし、地すべり面におけるせん断力は考慮しなかったが、不規則な偏圧を考えて安全率を高くとり、井筒壁を厚くした。これは同時に自重を増して沈下を容易にするねらいもあった。この構造は図5-3に示すとおりで、掘削中に流入する地下水や土砂を圧縮空気で抑止するものである。

井筒沈下後、底盤コンクリートを打設し、井戸内から集水ボーリングにより集水域を広げた。また1970年（昭和45年）には3基の集水井を、長孔横ボーリングで連結して地表までは自然排水をはかった。しかし、ボーリングは孔内崩壊が激しく作業が困難で、大孔径の保孔管を挿入することができず、径を小さくすると保孔管内が砂や錆でつまり、十分な排水が持続できなかつた。このため、1972年（昭和47年）から排水トンネルに切り替え、1973年末（昭和48年末）トンネルの完了によって自然排水の目的を達した（1号排水トンネル）。

集水井筒はさらに1972年（昭和47年）B-B測線の上部に1基（3号井筒）、1974年（昭和49年）C-C測線との間に2基（4・5号井筒）施工した。B-B測線、C-C測線付近はともに地下水が豊富で水位が高かったため、地表から2m程度の浅層部から加圧による掘削を必要とした。

以上のように深井戸工・集水井筒工を施工し、さらに後述の排水トンネル工を実施した結果、地すべり発生地帯における土塊の移動速度は逐次低下し安定化した。しかし、極所的に変動の残る地区があったため、それらの地区ではライナープレート集水井・RCセグメント集水井を施工し地下水の集排水をはかった。特に変動が最後まで残った地すべり地末端部のZ-Z測線周辺では、1984～1988年（昭和59～63年）に9基のライナープレート集水井を施工している。また、同様に変動が残った最上部のD-D測線の下方にも2基のライナープレート集水井を追加した（平成4年）。

RCセグメント集水井はC-C測線の下方右岸側で、旧滝沢川の流路沿いに流下する地下水の排除を目的に施工したものである。この周辺は地表水・地下水が多いとみられたため、施工の安全を考えてRCセグメント工としたものである（写真-77～79）。

## (2) 排水トンネル工

集水井筒内に集めた水はポンプで揚水していたが、異常な水質と混入する砂のためポンプの故障が多く、維持管理に多大の労力と経費を必要とした。このため、恒久的な自然排水を考え、長孔横ボーリングを行ったが孔つまりなどの障害があつて満足とはいえず、最終的に排水トンネルに切り替えることになった。1972～1973年（昭和47～48年）にIIIブロックで延長262mのトンネルを実施し、3基の集水井の底部からのたてボーリングにより、トンネルと連結させた。これが1号排水トンネルである（写真-71）。

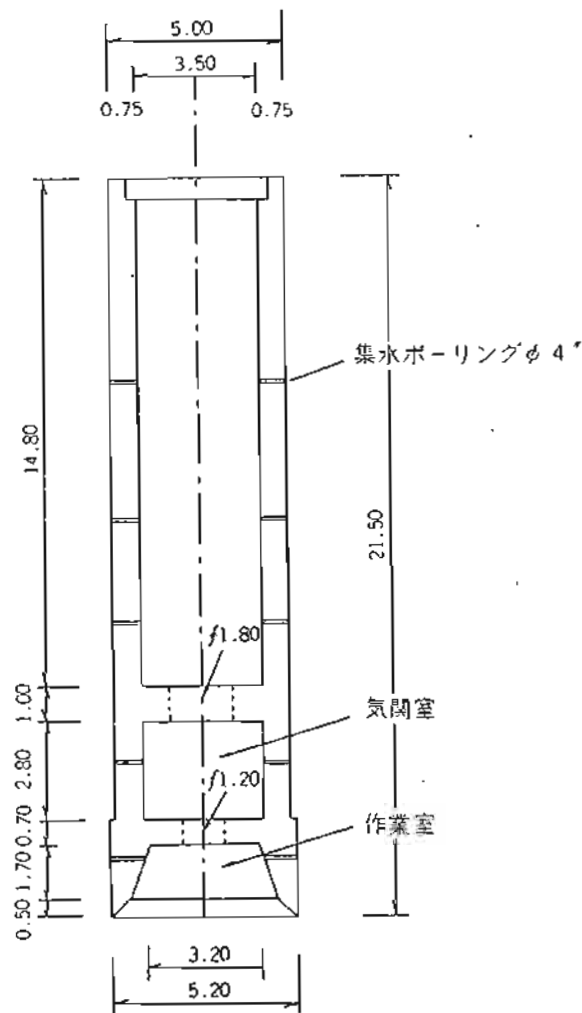


図5-3 集水井ケーソン一般図



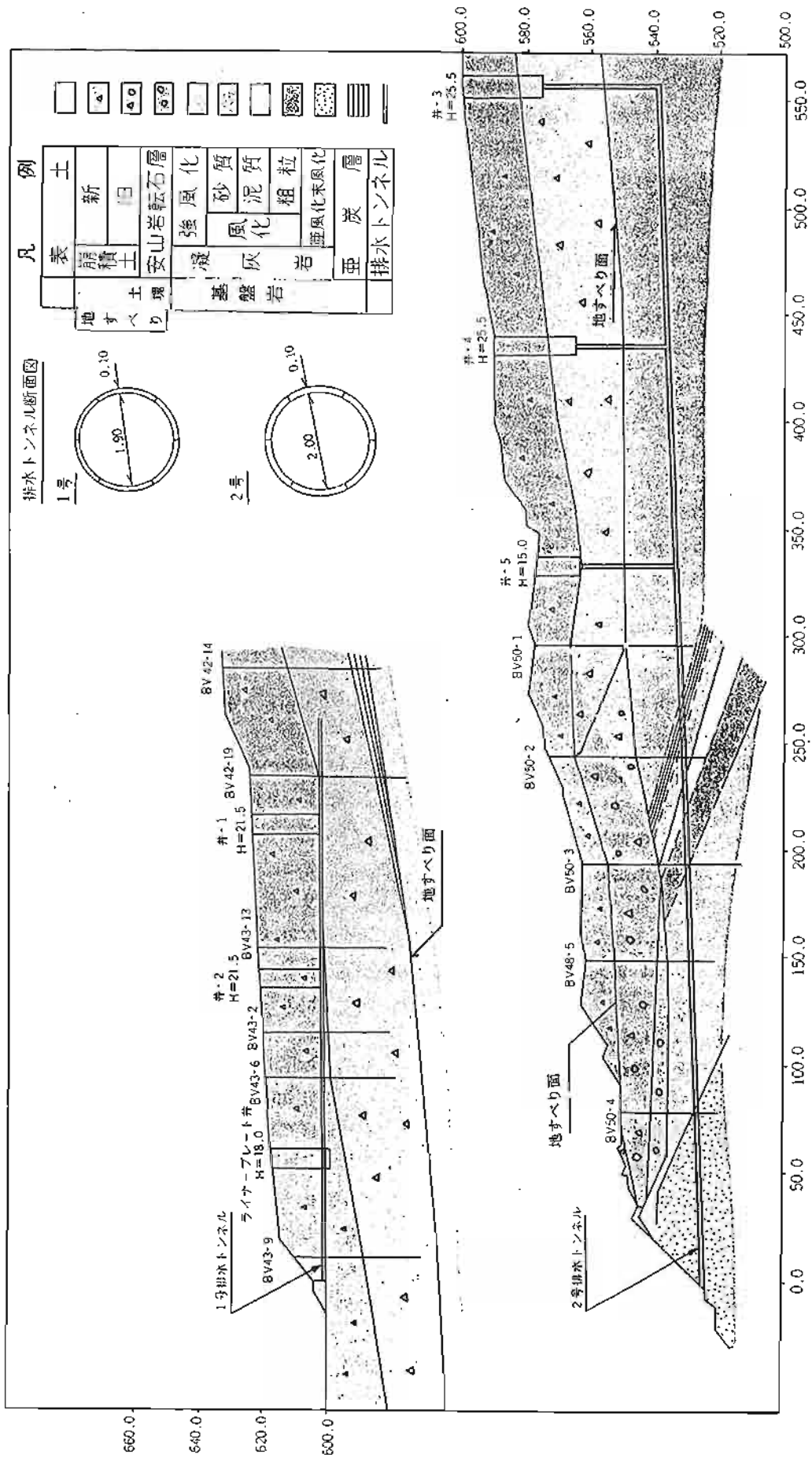


図5-4 排水トンネル（1号・2号）縦断面図

トンネルは支保工としてライナープレートによる巻き立てを行った。ライナープレートは 1m 当たり 10 枚組立て、外径 2.1m、内径 1.9m、板厚 4mm のものを使用し、1m 間隔に補強リングをつけている。

掘削に当たっては地すべり土塊中の作業であり、崩壊・押し出しの危険性が大きいことを考慮して簡易シールド工法を採用した。これは外径 2.15m、厚さ 9mm、長さ 3.0m の鉄製筒をジャッキで押しながら先端の土砂を掘削して行く方法で、ライナープレートはこの筒内で組立てるようになっている。

IIIブロックにおける施工の結果をみると移動層が均質な岩盤から構成されている部分では順調に掘進したが、軟質な砂質土と砂の部分では地山の崩壊が激しく、作業が非常に難行した。シールドの押し込みには 50ton ジャッキ 4 台を使用し 200ton の推力をもっていたが、100ton の加圧で反力の支えとなるライナープレートのフランジが湾曲したため十分な推力が得られず、これが軟弱層を突破するための最大の問題点となった。しかし、ライナープレートによる巻き立て完了後のトンネルで著しい変形や偏圧を受けているところはなく、不安はもたれない。

IVブロックの安定化をはかるため 3・4・5号集水井筒工を施工したが、これらに集水した水も自然流下をはかるのが妥当と認められたため、2号排水トンネル工が施工された（写真-72）。

このトンネルは基盤岩内に掘削するのが安全と考えられたため、坑口を不動島南方の地すべり地外とした。トンネル延長は 550m となった。トンネルの構造は 1号トンネルと同じであるが、掘削は基盤岩中となるため簡易シールド工法とはしなかった。施工は 1976～1979 年（昭和 51 年～54 年）に行い、さらに不動島上方において地すべり地を横断する枝線トンネル 118m を 1982・1983 年（昭和 57・58 年）に施工した。この枝線トンネルへは地表から 23 本のグラベルパイル工を行っている（径 35cm、長さ 25.8～31.1m、昭和 58 年施工）。

### (3) 鋼管杭挿入工

この地すべり地のすべり面は平均して深く、40m をこえるとみられ、その主動部では杭打工等による抑止工の施工は困難である。しかしながら、地すべり発生地帯上部の三角山東側と III・IVブロック北側はすべり面が浅くなっている。そこで、上部からの安定をはかるため、これらの地域の中で地すべり面の平均深度が 15～20m の地点を選定し、1969 年（昭和 44 年）から鋼管杭挿入工を施工した。

外径 318.5mm、管厚 10.5mm の鋼管を使用し、中に I 型鋼（200×150×9mm）を入れて補強し、プレキャストコンクリートを充填した。Iブロックでは平均地すべり面深度 15m の位置に長さ 20m の杭を、III・IVブロックでは地すべり面深度が 20m 以下の範囲に、チドリ配列とした 2 列の杭を、70m 間隔で 4 段水制工のように配置した。

この鋼管内には歪測定のための薄肉ガス管（外径 71.4mm、管厚 4.2mm）を入れ、管の中にストレングージを添付したビニール管を挿入した。安定計算にあたっては分割法ですべり力をもとめ、剪断力だけを考慮して断面を決定し、杭間隔は 1.5m とした。杭打工施工後においても地表土塊の移動は若干認められ、歪の累積もみられたが杭の外見上の変形はほとんどみられなかった。

#### (4) 地下水遮断工

南側の地すべり地外から、旧滝沢川の流路沿いに著しい地下水の流入があることが判明したため、地すべり地外で遮断し排水する計画をたて、B-B測線南方で1970年(昭和45年)に遮水壁工を実施した(図5-5)。ここは表層土が1~5mと薄く、その下位に凝灰質砂岩・泥岩および亜炭からなる岩盤があり、地下水はその亀裂を通過して流下していた(図5-6)。遮水壁は薬液注入工法を採用し、岩盤内亀裂にまずLW(水ガラス系)を注入し、更にサングラウト(リグニン系)およびこれと日東SS(アクリルアミド系)の併用を追加した。施工延長120m、深度15~25m、注入孔は千鳥状に配置し、隣接孔間隔2m、前後列間隔1.0~1.5mとした(図5-7)。注入は深度5m毎に3~5段に分けて実施し、工事中チェックボーリングを約15m毎に行なって薬液の浸透状況と透水係数の変化を調べた。

遮水壁工完了後、同年度にその上流部にライナープレート集水井(深さ15m、径3.5m)1基を設け、集水井ボーリングを行ったが集水量は多く、平均50 l/minの集排水となっている。この工事の結果、IVブロック下部南側の地表水・浅層地下水は急減し、土塊がかなり乾燥した状態になった。

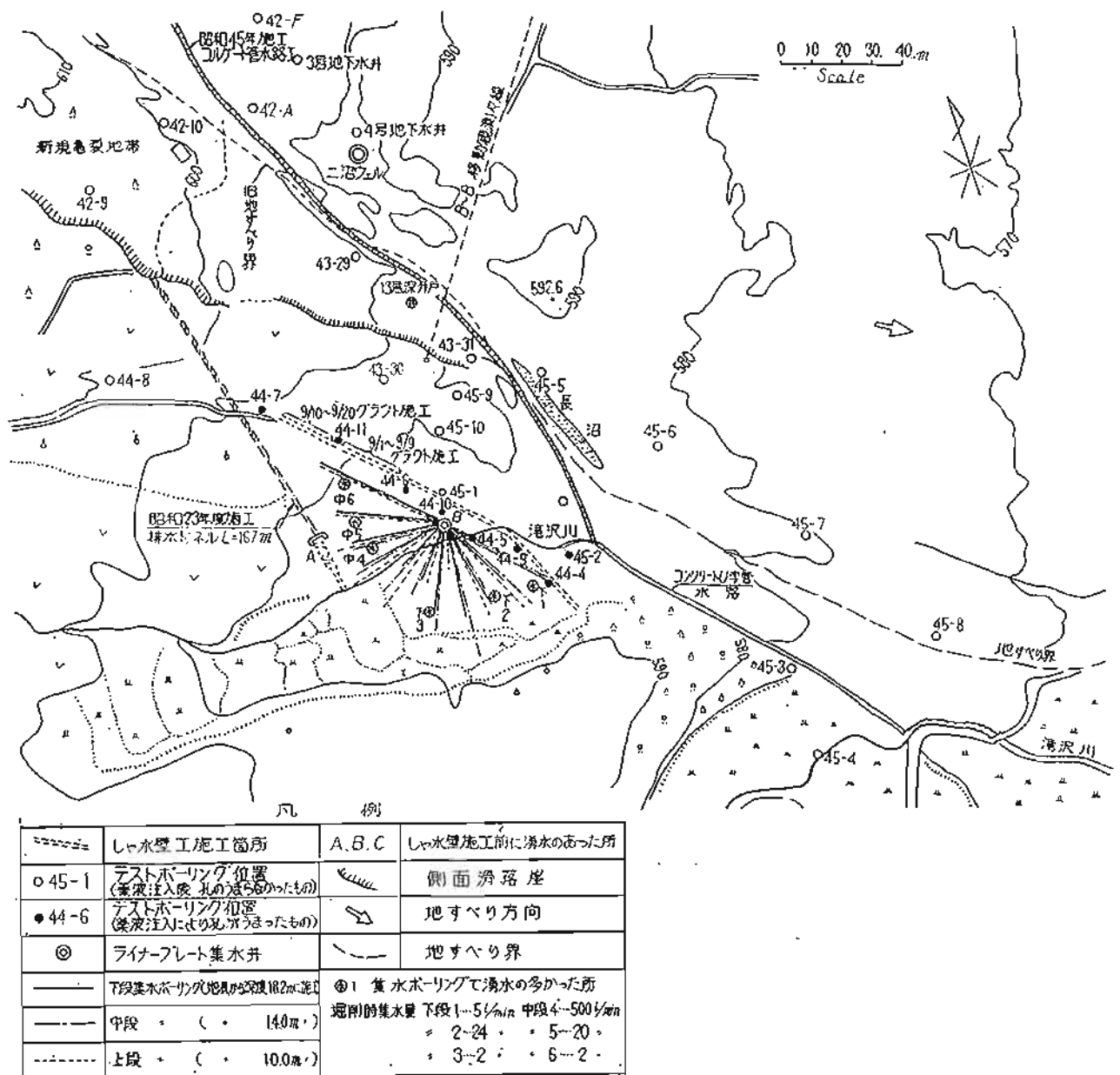


図5-5 遮水壁工施工地周辺平面図

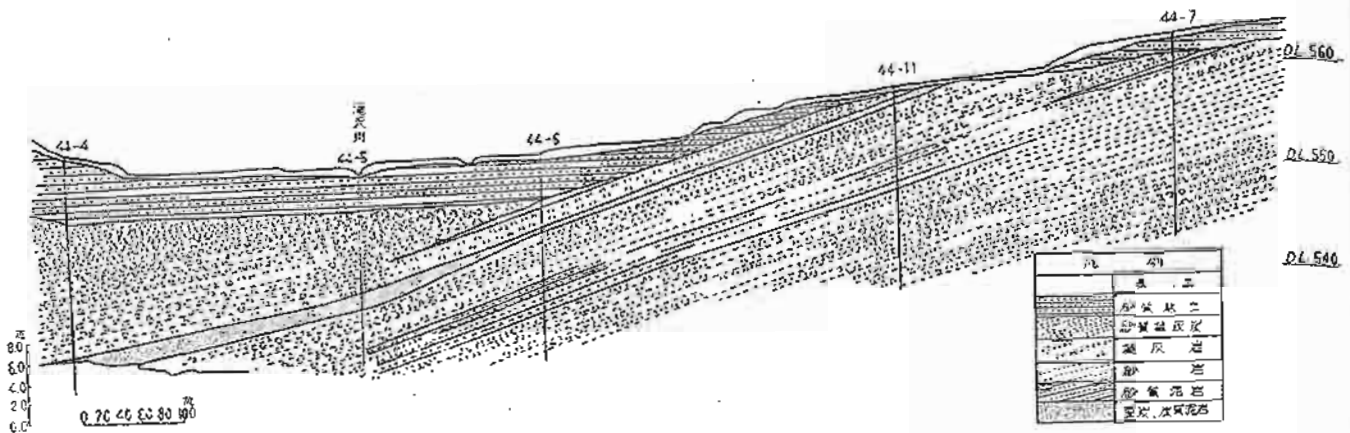


図5-6 遮水壁工施工地地質断面図

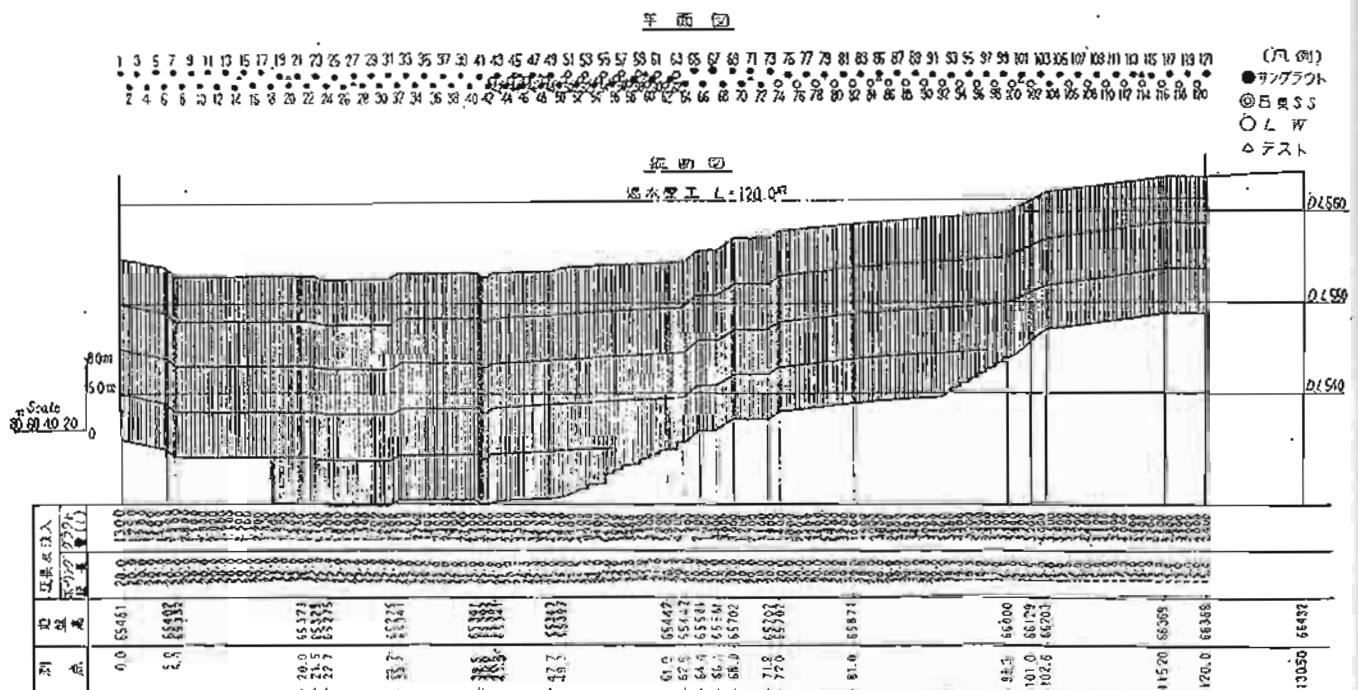


図5-7 遮水壁工配置図

(5) 水路工

地すべりの移動速度は、地下水位と共に降水量と密接な関係を持ち、降雨後B-B測線から下方特に攪乱帯では泥水が湧出し、浅層土塊が泥流化する傾向があり、放置すると下流施設の機能消失と破壊のおそれがあった。地表水・浅層地下水の再浸透を防止し、早急に排除する目的からも水路工の整備は欠かせないので、地すべり地全域にわたって排水路工を実施している。移動土塊の状況により、最も不安定な地区にはオープンカット・杭柵開渠工を実施し、安定化がややみられる地区にはコルゲート水路工を、さらに安定化した地区にはコンクリートU字溝の水路工を施工した(写真-68・84・85)。また、地すべり地最上部の左岸側(北側)山腹、三角山の南西山腹は、かつての地すべり面の泥岩層が露出し、雨裂が生じているため段状に板柵工と植栽による山腹工を施工したが、緑化は順調で目的を達した。

#### (6) 保全整備工

地すべり土塊の滑動が停止状態になってからは後述のように跡地の整備が進められ、公園として利用されるようになった。しかし、その整備地の周辺部は樹木・雑草の繁茂が著しく荒廃地の様相を呈していた。これらの山腹を整地し、景観を整えるため 1986 年（昭和 61 年）以後、保全整備工事が実施された。10 年間にわたり、二次的すべり地帯を中心に 92,718 $\text{m}^2$  の整備が行われた結果、荒廃地はなくなり、公園にふさわしい整然とした山腹に変わっている。

以上の諸工事の実施状況をまとめると表 5-1 のようになる。

表 5-1 茶臼山地すべり対策工事一覧表

年度	工 種	規 格	数 量	工事費 (千円)	備 考
明治 大正 昭和 4	堰堤工	石積	16 基		滝沢川に築造
昭和 5~24	堰堤工	石積、コンクリート	12 基		
昭和 7~8 昭和 32	開削工	鉄線蛇籠			表流水、浅層地下水排除
昭和 7~34	河川付替え工		2,500m		滝沢川、宇土沢付替え
昭和 25	排水トンネル	2.0×2.0 木枠玉石詰	167m		
昭和 27~40	堤防築造				地すべり舌端部
昭和 13~33	調査				土研、県
昭和 36	集水井筒工	H=13.0	1 基		深部地下水排除
昭和 37~39	深井戸工	H=30~35、300	3 基	9,192	深部地下水排除
昭和 40	排水ボーリング	65~101mm	365m	3,522	深部地下水排除
昭和 41	深井戸工 諸調査 計	長 35.0m、径 1.0m	3 基 1 式	4,628 4,941 11,477	4・5・6号 深井戸 地質調査ボーリング他
昭和 42	深井戸工 水路工 諸調査 計	長 25.0m、径 1.0m 開削工	3 基 259m 1 式	4,628 1,276 13,187 19,091	7・8・9号 深井戸 地質調査ボーリング 弾性波探査、電気探査
昭和 43	深井戸工 水路工 諸調査 計	長 30.0m、径 1.0m 開削工	4 基 540m 1 式	6,160 1,704 1,723 9,587	10・11・12・13号 深井戸
昭和 44	集水井筒工 水路工 鋼管杭挿入工 諸調査 計	H=21.5、3.5 U型板柵水路 H=42.0、318.5	1 基 306.7m 30 本 1 式	16,870 4,956 22,186 3,899 47,911	1号ケーソン工 調査ボーリング地下水調査
昭和 45	集水井筒工 遮水工 集水井 集水ボーリング 水路工 諸調査 計	H=21.5、3.5 グラウト H=15.0 コルゲート水路	2 基 120m 1 基 1 式 2,340m 1 式	27,026 31,927 6,409 4,638 70,000	2号ケーソン 中継井 ケミカルグラウト
昭和 46	鋼管杭挿入工 深井戸工 集水ボーリング 水路工 諸調査 計	H=30m H=20.0 コルゲート水路	60 本 3 本 900m 2,340m 1 式	21,933 7,187 4,991 14,897 7,644 56,652	
昭和 47	鋼管杭挿入工 集水井筒工 排水トンネル 集水ボーリング 山腹工 水路工 諸調査 計	H=30.0m、20 本 H=25.5、3.5m 内径 2.0m 86mm コンクリート板 U型、板柵水路	3箇所 60 本 1 基 212m 1,200m 1,500m 360m 1 式	7,242 21,438 48,871 7,300 2,399 6,621 10,093 103,964	3号ケーソン工 ライナープレート巻立て 3号ケーソン工内

年度	工種	規格	数量	工事費 (千円)	備考
昭和 48	排水トンネル 水路工 諸調査 計	内径 2.0m 開削工	50m 1,210m 1式	16,150 11,595 14,492 42,237	1号ケーソン工
昭和 49	集水井筒工 諸調査 計	H=25.5、15.0	2基 1式	45,202 2,130 47,332	4・5号ケーソン工
昭和 50	開渠工 集水ボーリング工 諸調査 計	ベンチフリューム	238m 1,500m 1式	9,614 19,324 1,928 30,866	ケーソン内集水ボーリング
昭和 51	排水トンネル工 諸調査 計	内径 2.0m	125.0m 1式	37,805 1,932 39,737	2号トンネル工
昭和 52	排水トンネル工 集水ボーリング 諸調査 計	内径 2.0m	154.5m 1,100m 1式	50,023 12,220 4,130 66,373	2号トンネル工 1,2号ケーソン内
昭和 53	排水トンネル工 ボーリング孔洗淨 諸調査 計	内径 2.0m	163.0 680m 1式	62,104 1,220 3,110 66,430	2号トンネル工
昭和 54	排水トンネル工 ボーリング孔洗淨 諸調査 計	内径 2.0m 下部機構調査	130m 700m	54,910 1,304 15,776 72,000	2号トンネル工
昭和 55	水路工 集水井 集水井ボーリング ボーリング孔洗淨 諸調査 計	U型溝 (二階建) 内径 3.5m、H=10.5 下部機構調査等	265m 2基 2,500m 600m	18,111 29,915 29,915 1,250 18,926 68,202	不動島上方 55-1・55-2 集水井内集水ボーリング
昭和 56	水路工 集水ボーリング 諸調査 計	U型溝 (二階建) 現場打水路	476.5m 40.0m 756m 1式	37,442 3,950 11,272 3,634 56,298	横ボーリング、ポンプ設備
昭和 57	排水トンネル工 集水井 集水ボーリング 水路工 諸調査 計	内径 2.0m 内径 3.5m、H=15.3m RC セグメント U型溝	88m 1基 680m 418m 1式	60,300 20,600 19,800 2,870 103,570	2号トンネル枝線 不動島上方 集水井内
昭和 58	排水トンネル工 グラベルパイル 水路工 諸調査 計	内径 2.0m 径 35cm l=25.8~31.1m U型溝 測量、観測	30m 23本 547m 1式	18,690 21,390 26,860 7,460 74,400	2号トンネル枝線 不動島上方
昭和 59	集水井 集水ボーリング 排水ボーリング 水路工 諸調査 計	内径 3.5m H=11.0 U型溝	2基 1,800m 111m 334.2m 1式	36,420 16,280 4,300 57,000	二次的地すべり地帯下部

年度	工種	規格	数量	工事費 (千円)	備考
昭和 60	集水井 集水ボーリング 排水ボーリング 水路工 水路工 横ボーリング 諸調査 計	内径 3.5m H=11.0  (大型暗渠工) U型溝	2基 1,800m 129m 57.5m 170.5m 200m 1式	44,690 3,940 5,670 3,000 57,300	二次的地すべり地帯下部
昭和 61	集水井 集水ボーリング 排水ボーリング 水路工 保全整備 諸調査 計	内径 3.5m H=11.0	2基 2,414.5m 141m 90m 7,124m <sup>2</sup> 1式	48,820 5,790 14,840 2,850 72,300	二次的地すべり地帯下部
昭和 62	集水井 集水井ボーリング 排水ボーリング 水路工 保全整備 諸調査 計	内径 3.5m H=11.0	2基 2,400m 163m 463m 11,400m <sup>2</sup> 1式	51,770 21,290 11,340 3,400 87,800	二次的地すべり地帯下部
昭和 63	集水井 集水ボーリング 排水ボーリング 水路工 保全整備 自動観測装置 諸調査 計	内径 3.5m H=11.0	1基 1,450m 51m 722m 7,710m <sup>2</sup> 1式 1式	76,100	二次的地すべり地帯下部
平成 元	ボーリング孔洗淨 水路工 保全整備 諸調査 計		1,100m 1,440m 9,340m <sup>2</sup> 1式	63,770	
平成 2	集水井 集水ボーリング 排水ボーリング 水路工 ボーリング孔洗淨 保全整備 諸調査 計	内径 3.5m H=7.5m	1基 800m 35m 734m 3,000m 9,570m <sup>2</sup> 1式	61,400	不動島下方
平成 3	集水ボーリング 横ボーリング 開渠工 明暗渠工 保全整備 諸調査 計		291m 223m 553.9m 244.7m 12,010m <sup>2</sup> 1式	¥53,300	
平成 4	集水井 集水ボーリング 排水ボーリング 水路工 保全整備 諸調査 計	内径 3.5m H=16 H=19 内径 40mm 復旧 37m 新設 110m 暗渠工を含む 整地工	2基 210m 147m 626m 10,060m <sup>2</sup> 1式	¥100,000	A-A測線上方



年度	工種	規格	数量	工事費 (千円)	備考
平成 5	集水ボーリング 横ボーリング 水路工 諸調査 計	開渠工 明暗渠工	1,924.5m 205m 943.5m 90m 1式	¥118,950	
平成 6	水路工 横ボーリング 保全整備 諸調査 計	開渠工 明暗渠工 暗渠工 整地工	328.5m 100m 85m 225m 7,910m <sup>2</sup> 1式	¥73,700	
平成 7	水路工 横ボーリング 保全整備 諸調査 計	開渠工 明暗渠工 整地工	68m 85m 600m 12,174m <sup>2</sup> 1式	¥78,200	
平成 8	保全整備 諸調査 計		10,420m <sup>2</sup> 1式	¥66,500	
平成 9	水路工 法面緑化工 計	開渠工 種子吹き付け工	215.3m 4,140m <sup>2</sup>	¥24,627	
合計	集水井 集水井筒 深井戸 グラベルパイル 排水トンネル 集水ボーリング 鋼管杭 遮水壁 水路工 開削工 河川付替 山腹工 保全整備 堤防築造 砂防堰堤 諸調査 昭和41年度～平成7年度	ライナープレート R Cセグメント ケーソン径3.5m 径30～50cm 径35cm	15基 1基 5基 16基 23本 1,119.5m 23,344.5m 150本 120m 27,221.9m 449m 2,500m 1,500m <sup>2</sup> 92,718m <sup>2</sup> 1式 28基 1式	¥1,977,074	この他に中継井1基

### 5-3. 安定化の経過から考察される対策工事の効果

この地すべりは4-4章で記述したように、1970年（昭和45年）頃から著しい安定化の傾向を見せてきた。この現象に対しては、不安定地塊が下流へ滑動したことによって、もたらされた自然安定の要素が強く、対策工事が効果をみせたものと簡単に言えないという見解も一部の識者から出されている。確かに自然安定という要因があることを否定することはできない。しかし、安定化の経過を見ると地すべり発生地帯上部で安定化の傾向が現れてきた時期が排水工事を集中的に施工し、特に右岸側の地下水位を大幅に低下させた時期と一致していることが認められ、自然安定のみでないことは明らかである。また、安定化が地すべり発生地帯の右岸側からおこっていることも対策工事の効果を示していると考えてよいとみられる。

一方、地すべりの発達経過を見ると、地すべり地塊の下流への滑動にともなって側面へのブロック状に拡大する性質が認められ、1960年（昭和35年）頃からは新規亀裂地帯（Vブロック）の発生が注目されてきた。この滑動を放置した場合の新規亀裂地帯の沈下、さらに横移動が発生し、これがIII・IVブロックの分離をひきおこし、従来とは異質の地すべり発生地帯下部の不安定状態がひきおこされることが予想される。ところが、そのような大規模な滑動には至っていない。このように見ると、対策工事は十分に効果をあげており、またその機能維持が重要な問題であると考えられる。

#### 5-4. 地下水排除施設の機能維持について

地下水排除施設は地すべり対策工事にとって極めて重要なものであるが、その機能は施工直後の状態が継続的に維持されるわけではなく、時間の経過とともに種々の障害に遭遇し、機能が失われがちである。

これを防止し、維持管理をはかって行くことは大事な問題である。

茶臼山地すべり地では地下水が前述のように特異な水質のため、空気にふれると鉄錆を析出するという性質がある。このため、排水施設はいずれも目づまり現象が著しく、特に集水用の横孔ボーリングが目づまりをおこしている。

この現象は地下水が排出されて、空気にふれるほど激しくなるため、地下水量が多く効果的に排水を行っている施設ほど鉄錆の蓄積が多くなっている。

目づまりがおこると施設周辺の地下水位が上昇するため、降水量の影響とは異質の、不自然な地下水位上昇がおこる。この地すべり地の場合、上記の地下水位上昇がかなり急激に発生し、上昇した水位はその後横孔ボーリングを施工しなおしたり、洗浄を行っても直ちに元に戻らないという性質がある。

1号井筒工の西南にある4号深井戸工の水位にこの状況がよくあらわれている。

3・4・5号井筒工でも、このような目づまり現象がおこっているが、ここではさらに集水井からトンネルへ導く導水管がつまるという現象がおきている（写真-73~76）。これらの導水管は地すべり面付近でやや屈曲しており、ここに鉄錆やゴミが蓄積しがちである。導水管の屈曲は各集水井で同じように発生しており、目づまりも同じように発生するという傾向がある。

このような現象がおこると、地下水位が上昇すると共に集水井から水があふれ（写真-73）土塊の変動量もやや大きくなるように見える。また、目づまりが進行するとトンネルの排水量が減少する。図4-20で1987年~1988年（昭和62~63年）の年間排水量を年間降水量と対照すると1985~1986年（昭和60~61年）の状態より少なくなっている。これは目づまりの進行による影響とみて良いであろう。

このような目づまりと集水井からの溢水は、まず1988年（昭和63年）12月から1989年（平成元年）4月にかけて発生したが、この機能回復には1989年（平成元年）7月までかかっている。さらに1992年（平成4年）3月にもこのような状態になり、復旧には1992年（平成4年）8月までかかった。このような状況は今後も発生する可能性がある。

茶臼山地すべり地の地下水排除施設には以上のような問題があり、その機能維持はかなり困難な問題となっている。現在の所、目づまりを防止する有効な手段は見当たらず、定期的な排水施設の洗浄と再施工によらざるを得ない所である。そして、目づまりの進行状況を監視するため、地下水位の変化・トンネル排水量の変化などを注意して観測していく必要が出ている。

## 6. 跡地利用

### 6-1. 利用計画

長い年月と多大の経費を費やして、多くの対策工事を実施した結果、茶臼山地すべりもようやく安定化の傾向を示してきた。特に1970年（昭和45年）以降年間移動量が激減したため、跡地利用の問題がクローズアップされ、長野市により自然植物園として利用する計画が検討された。その際特に用地問題をどうするか焦点となった。地すべり地内の土地はほとんどが私有地であり、地すべり発生前は山林・畑・水田等であったが、大規模で、しかも100年余にも及ぶ地すべりのため地形が大幅に変化してしまった。この土地を所有者に再分割することは事実上不可能であったことから、地権者の協力が得られ、1973年（昭和48年）に長野市が地すべり地内の用地約36haを借地することとなった。この地すべり地は、一部を除いて比較的緩斜面であること、善光寺平を一望できる景勝地であること、市街地に近接していること等のため公園としての立地条件を備えており、この計画が積極的に進められることになったものである。

表6-1 茶臼山植物園施設計画一覧表

		上部（第1次）	下部（第2次）	総 計
建設年度		52・53	54・55・56	5ヵ年
事業費		207,000千円	233,000千円	440,000千円
開設面積		16.00ha	17.00ha	33.00ha
手入れ総面積		(85%) 13.60ha	(76%) 13.00ha	(81%) 26.60ha
樹木	植栽	100,000本	50,000本	150,000本
	自生	50,000本	50,000本	100,000本
	計	150,000本	100,000本	250,000本
園路	幹線路	2,100m	1,500m	3,600m
	自然路	1,900m	3,500m	5,400m
	計	4,000m	5,500m	9,000m
広 場		(2)5,692㎡	(4)11,500㎡	(6)17,192㎡
四 阿		(大)4	(大)4 (小)10	(大)8 (小)10
冒険・遊技施設		(冒)33	(冒)8 (遊)15	(冒)41 (遊)15
藤のトンネル		300m	-	300m
恐 竜 等		-	(セット) <sup>23</sup> <sub>2</sub>	(セット) <sup>23</sup> <sub>2</sub>
ベ ン チ		82	120	202
ト イ レ		6	8	14
案内・説明板		115	(鳥瞰図) <sup>210</sup> <sub>1</sub>	(鳥瞰図) <sup>325</sup> <sub>1</sub>
水 飲 場		-	2	2
駐車場(収容台数)		8,000㎡(マイカー400台)	8,900㎡(バス10台) (マイカー400台)	16,900㎡(バス10台) (マイカー800台)
管 理 棟		1	1	2
取 付 道 路		(冒険口) 706m	(恐竜口) 380m	(2) 1,086m

## 6-2. 自然動植物園の概要

1977年（昭和52年）に長野市制80周年記念事業として、長野市茶臼山自然動植物園建設計画が決定し、同年度から茶臼山地すべり地とその隣接地において建設工事がスタートした。

自然植物園は地すべり地内の約33haについて、第1次計画（上部）、第2次計画（下部）により合計5ヶ年計画で建設された。

植栽工事は、地すべり地内に自生したコナラ・クヌギ・ヤマハンノキ・アカマツ等68科129種にわたる約10万本の草木類をそのまま整備・活用する一方、1977～1978年（昭和52～53年）に上部の16haについて、1979～1981年（昭和54～56年）に下部の17haについて植栽が行われた。

地すべり地であることを考慮して、低木のツツジ類（13種）を主体にヤマブキ・アジサイ・ウツギ・ニシキギ等18科45種の草木類、センブリ・クコ・マタタビ・イカリソウ・ボケ等22科31種の薬草類、合計15万本の植栽を実施した。

その他、藤棚を連続させた藤の大トンネル・フィールドアスレチックを配置した冒険の森・若者広場・芝生の家族広場・お伽話のキャラクター遊具を配置したお伽の広場・四阿・ベンチ等が設置されている（写真-81～83）。

また、地すべり地下部（二次的地すべり地帯）では荒々しい自然背景の中に恐竜を設置する計画が立てられた。ここでは、古生代ペルム紀から中生代白亜紀までの23体の実物大恐竜模型が設置され、恐竜公園とよばれるようになった。これらは特に子供達の人気を集めている（写真-84～86）。

これらの建設費用は、約4億円にのぼり、長野市の単独事業で進められた。

なお、地すべり地の南隣の地すべり地外一帯に動物園がつけられた。これは1979年（昭和54年）から建設に着手し、約24億円の事業費を投じて1983年（昭和58年）に完成した。キリン・ゾウ・レッサーパンダから親しみのある小動物、鳥類合わせて51種270点程の動物が公開されている。

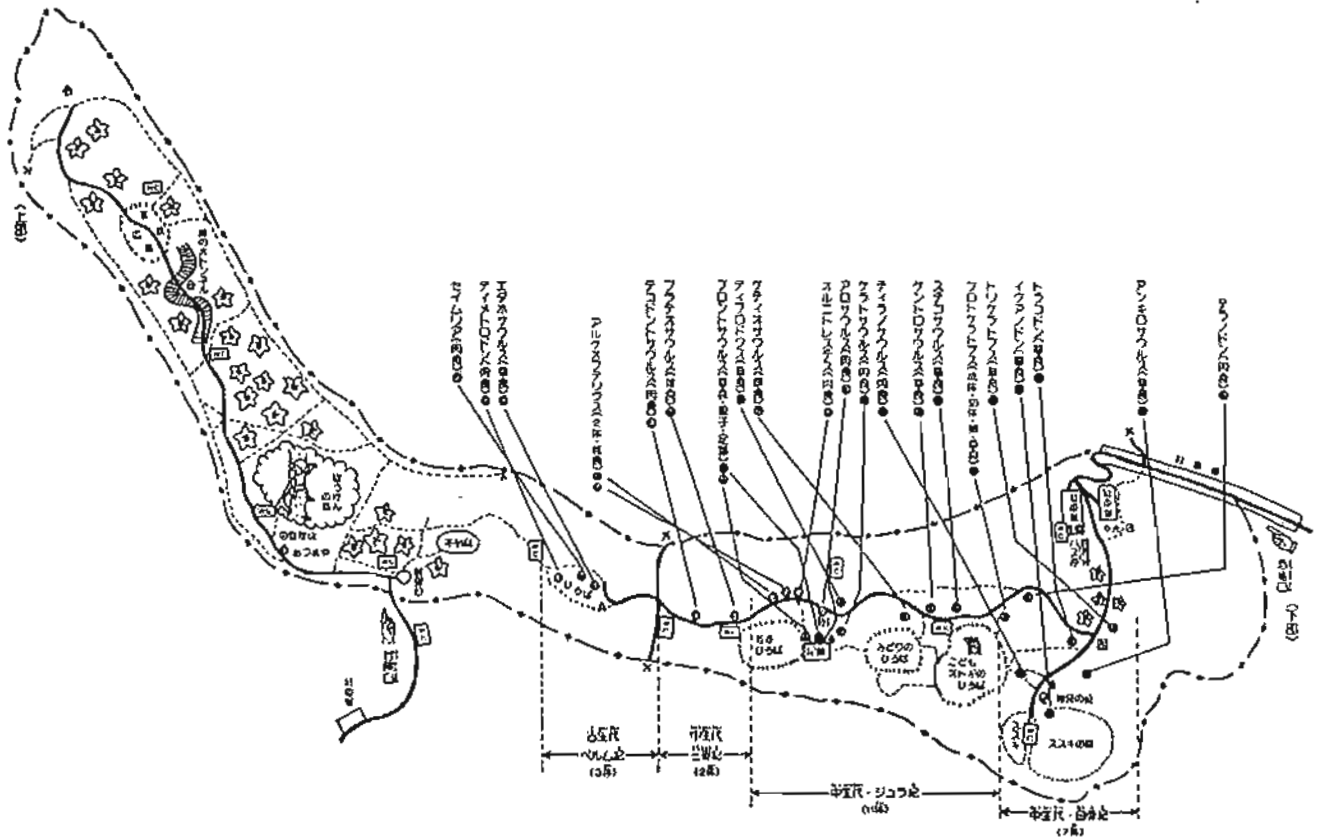


図6-1 茶臼山地すべり跡地利用平面図

### 6-3. その他

#### a) 野外学習場

県は上部滑落崖に露頭している地層の説明板を設置すると共に、多種にわたる地すべり対策工事の内容を図解した案内板を各所に設置し、学童・学生達の地学学習の場として利用されている（写真-90~92）。

#### b) 茶臼山自然史館

1985年（昭和60年）には、動物園東側に接して長野市立博物館の分館として茶臼山自然史館がオープンした。

以上の植物園・恐竜公園・動物園・博物館等は自然の立地条件を有効に生かしながら、訪れる人達の動線を考慮してバランスよく配置されている。長野市がまとめた利用客の数は植物園開園当初の1980~1982年（昭和55~57年）の3年間は年間30万人を超え、その後徐々に減少したものの平均して年間15万人以上にのぼっている。

長い年月にわたる地すべりのため、人が立ち入ることすら困難なほど荒廃した斜面が、自然植物園等の建設により、春はツツジの絨緞、夏は緑の木陰、秋は紅葉と四季おりおりの姿を見せ、訪れる人の憩いの場に生まれ変わったものである。

なお、1964年（昭和39年）に昭和天皇、皇后両陛下が植樹祭にお出での折、山麓の長野市篠ノ井から茶臼山を遠望され、関係者からつぶさに状況をお聞きになった。このように両陛下が地すべり地をご覧になったのは、この時が初めてのことであると言われる。

文 献

- 大塚弥之助 (1938) ; 茶臼山地すべりについて 地震 Vol.10 No.12 pp.1~11
- 萩原尊礼・俵俊一郎 (1938) ; 長野県茶臼山地すべり調査 (弾性波法による地すべり面の決定) 地震 Vol.10 No.12 pp.12~20
- 福岡正己 (1948) ; 茶臼山地すべり調査報告 (第1報) 建設院第一技術研究所概報 第4号 pp.1~16
- 福岡正己 (1948) ; 茶臼山地すべり調査報告 建設院第一技術研究所概報 第7号
- 小野寺透・芥川真知・柳治一・新谷 三 (1949) ; 長野県茶臼山付近の地すべりに関する研究(1) 建設省土木研究所概報 No.10 pp.1~50
- 芥川真知 (1951) ; 長野県茶臼山付近の地すべりに関する研究(2) 建設省土木研究所報告 第81号の1 pp.1~11
- 八木貞助 (1951) ; 裾花川浅川及土尻川流域等の砂防治水について 長野県治水砂防協会 106 P.
- 福岡正己・水島尚一 (1952) ; 茶臼山地すべり防止堰堤に関する研究 建設省土木研究所報告 第84号の7 pp.161~185
- 福岡正己 (1953) ; 地すべりとその対策に関する研究 (学位論文) ガリ版
- 有泉 昌・牧 隆正 (1953) ; 茶臼山地すべり地帯陸水の化学的研究 建設省土木研究所報告 第85号 pp.155~175
- 福岡正己・斉藤仲男 (1953) ; 茶臼山調査報告 (排水トンネル地質調査、サイフォンによる沼の排水、浸透量) 建設省土木研究所報告 No.86 pp.93~141
- 鳥山武雄 (1960) ; 北信山地の砂防工学的研究 信州大学教育学部研究論文集 No.11 pp.112~130
- 富沢恒雄 (1961) ; 長野県の茶臼山付近の第三系について 地質学雑誌 68 797
- 滝沢和夫 (1961) ; 茶臼山地すべり調査について 地すべり研究 No.5 pp.54~66
- 長野県土木部 (1958~1966) ; 茶臼山地すべり調査報告書 (その1~その8)
- 松林正義 (1963) ; 茶臼山地すべり地における地下水調査について 地すべり研究 No.7 pp.31~36
- 阿座上新吾・望月巧一 (1965) ; 茶臼山の地すべりについて 全国地すべり対策協議会第19回研究発表大会資料 81P.
- 松林正義 (1966~1967) ; 松代地震の地すべりへの影響について(I)(II) 地すべり Vol.3 No.1 pp.48~52 地すべり Vol.4 No.1 pp.48
- 松林正義・望月巧一 (1967) ; 茶臼山地すべり上部の地下水調査について 地すべり研究 No.11 pp.67~77
- 建設省土木研究所 新潟試験所 (1968) ; 茶臼山地すべりにおける地下水検層試験報告書(I) 土木研究所資料 第374号 17p
- 建設省土木研究所 新潟試験所 (1969) ; 茶臼山地すべりにおける地下水検層試験報告書(II) 土木研究所資料 第468号 11p
- 飯島南海夫・斉藤 豊 (1969) ; 更級埴科地方誌 第1巻自然編 第2章地質 pp.43~158

- ・松林正義・望月巧一 (1969); 茶臼山地すべり地上部の地下水について 地すべり Vol.5 No.3 pp.8~12
- ・松林正義・望月巧一 (1970); 茶臼山地すべり地上部の地下水について (II) 地すべり Vol.6 No.3 pp.1~10
- ・長野県 (1970); 茶臼山地すべり 全国地すべり対策協議会第24回研究発表大会資料 115P.
- ・長野県 (1971); 茶臼山地すべり調査資料集 (移動量表) 258P.
- ・松林正義 (1971); 茶臼山地すべり移動特性 地すべり研究 No.15 pp.115~140
- ・望月巧一 (1971); 長野市茶臼山地すべり対策工事について 地すべり研究 No.15 pp.141~162
- ・長野県 (1972); 茶臼山地すべり調査資料集(2) 401P.
- ・松林正義 (1972); 地すべり地におけるグラウトによる遮水壁工とその効果判定 地すべり Vol.9 No.2 pp.21~32
- ・望月巧一 (1976); 最近の茶臼山地すべりの移動特性 地すべり Vol.13 No.2 pp.1~12
- ・望月巧一 (1976); 茶臼山自然動植物園計画について (ニュース) 地すべり Vol.14 No.1 pp.44~45
- ・望月巧一 (1977); 茶臼山地すべりの発達経過からみた移動特性 地すべり Vol.14 No.1 pp.28~38
- ・松林正義 (1977); 新第三紀層地すべりの機構と対策に関する研究 (学位論文) 長野県治水砂防協会 214P.
- ・長野県砂防課 (1977); 地すべり記録集 No.9 茶臼山地すべり 全国地すべり崖崩れ対策協議会 74P.
- ・OYAGI, N. and KAIJO, H. (1977); CHAUSUYAMA LANDSLIDE guide book for excursions of landslides in central Japan, the Japan society of landslides pp.25~29
- ・長野県砂防課 (1981); 茶臼山地すべり工事誌 日本砂防史 全国治水砂防協会 pp.1039~1050
- ・寺川俊浩・大西吉一・戸谷勝彦・西田彰一 (1981); 茶臼山地すべりの最近の知見 第20回地すべり学会研究発表論文集 pp.78~79
- ・望月巧一・中村三郎 (1984); 茶臼山地すべり下部の変動様相と埋没谷 地すべり Vol.20 No.3 pp.10~17
- ・長野市立博物館 茶臼山自然史館 (1987); 第1回企画展 茶臼山地すべり 16p.
- ・長野県土木部砂防課 (1988); 茶臼山地すべりと跡地利用 地すべり Vol.25 No.5 pp.36~42
- ・望月巧一 (1991); 茶臼山地すべりの変遷と地下水排除の効果 平成3年度地すべり学会シンポジウム「地すべり災害斜面の移り変わり」と地下水排除効果」論文集 pp.30~48
- ・長野県土木部砂防課 (1992); 長野県砂防史 地すべり対策事業①茶臼山地すべり 長野県土木部砂防課・長野県治水砂防協会 pp.184~194
- ・望月巧一 (1992); 岩盤地すべりによる地形発達—長野県茶臼山地すべりの例— 第31回地すべり学会研究発表講演集 pp.355~358
- ・松本久志・望月巧一・桑原 勉 (1992); 茶臼山地すべり地における地下水排除施設の機能維持について 第31回地すべり学会研究発表講演集 pp.363~366
- ・望月巧一 (1993); 茶臼山地すべり対策工事について 平成5年度土砂災害防止月間 県内講習会資料 pp.1~20
- ・望月巧一 (1993); 地震の地すべりへの影響—松代群発地震の茶臼山地すべりへの影響— 第32回地すべり学会研究発表講演集 pp.415~418
- ・望月巧一・桑原 勉 (1994); 長期観測資料から見た茶臼山地すべり地の地下水と排水効果について 第33回地すべり学会研究発表講演集 pp.129~132
- ・望月巧一 (1994); 茶臼山地すべり地周辺の地形とマスマーブメント 第33回地すべり学会研究発表講演集 pp.61~64



写 真

1870

1871

1872

1873

1874

1875

1876

1877

1878

1879

1880



写真-1 地すべり地上部の状況。  
1970年（昭和45年）11月撮影。

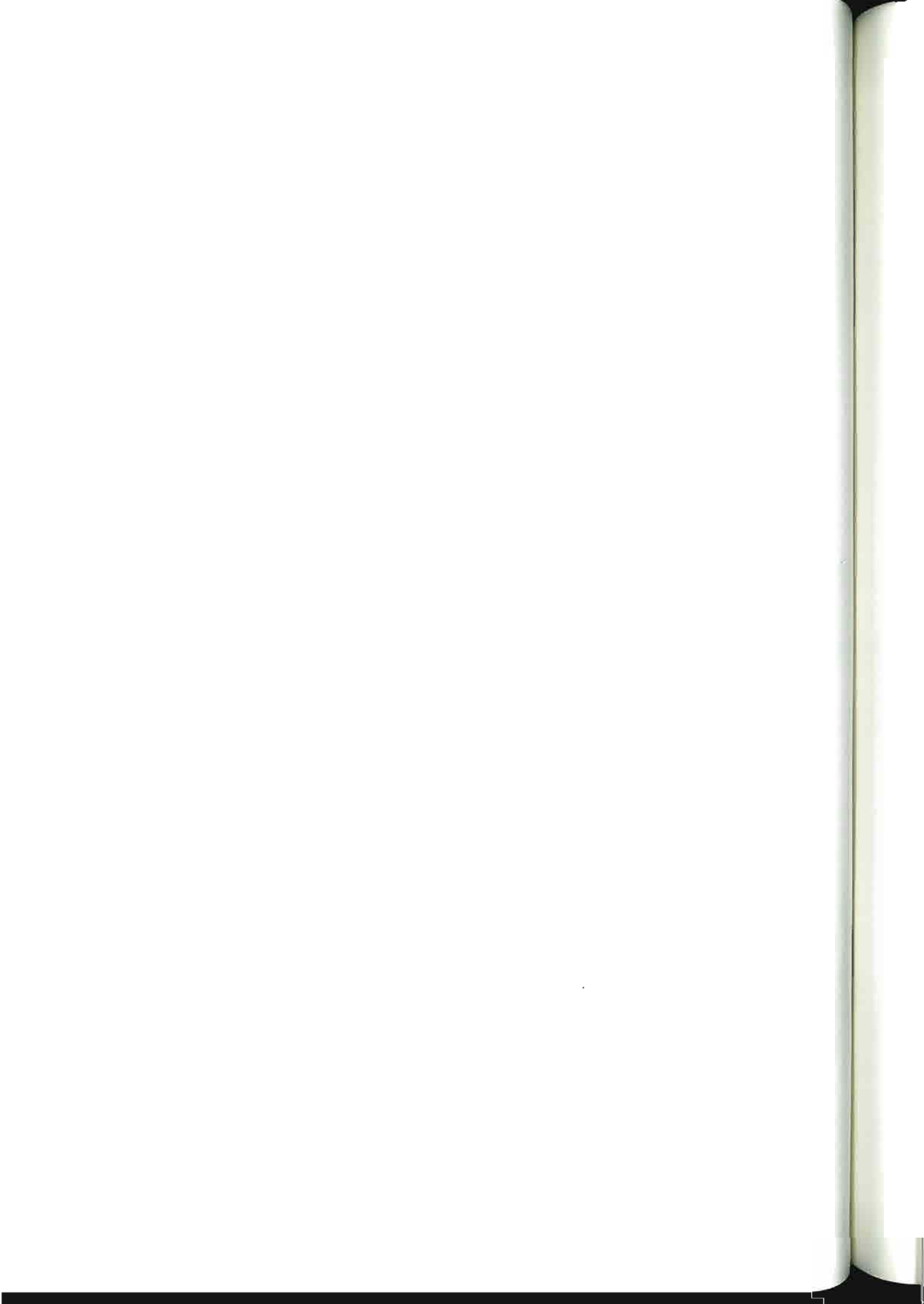




写真-2 地すべり地中部～上部の状況。1976年（昭和51年）11月撮影。



写真-3 地すべり地上部～下流を望む。1976年（昭和51年）11月撮影。





写真-4 地すべり地全景。1982年（昭和57年）10月撮影。



写真-5 地すべり地上部の状況。1982年（昭和57年）10月撮影。







写真-6 地すべり地全景。  
1985年(昭和60年)11月撮影。  
地すべり地の南栗山麓に扇状の押し出し地形が広がるのがわかる。

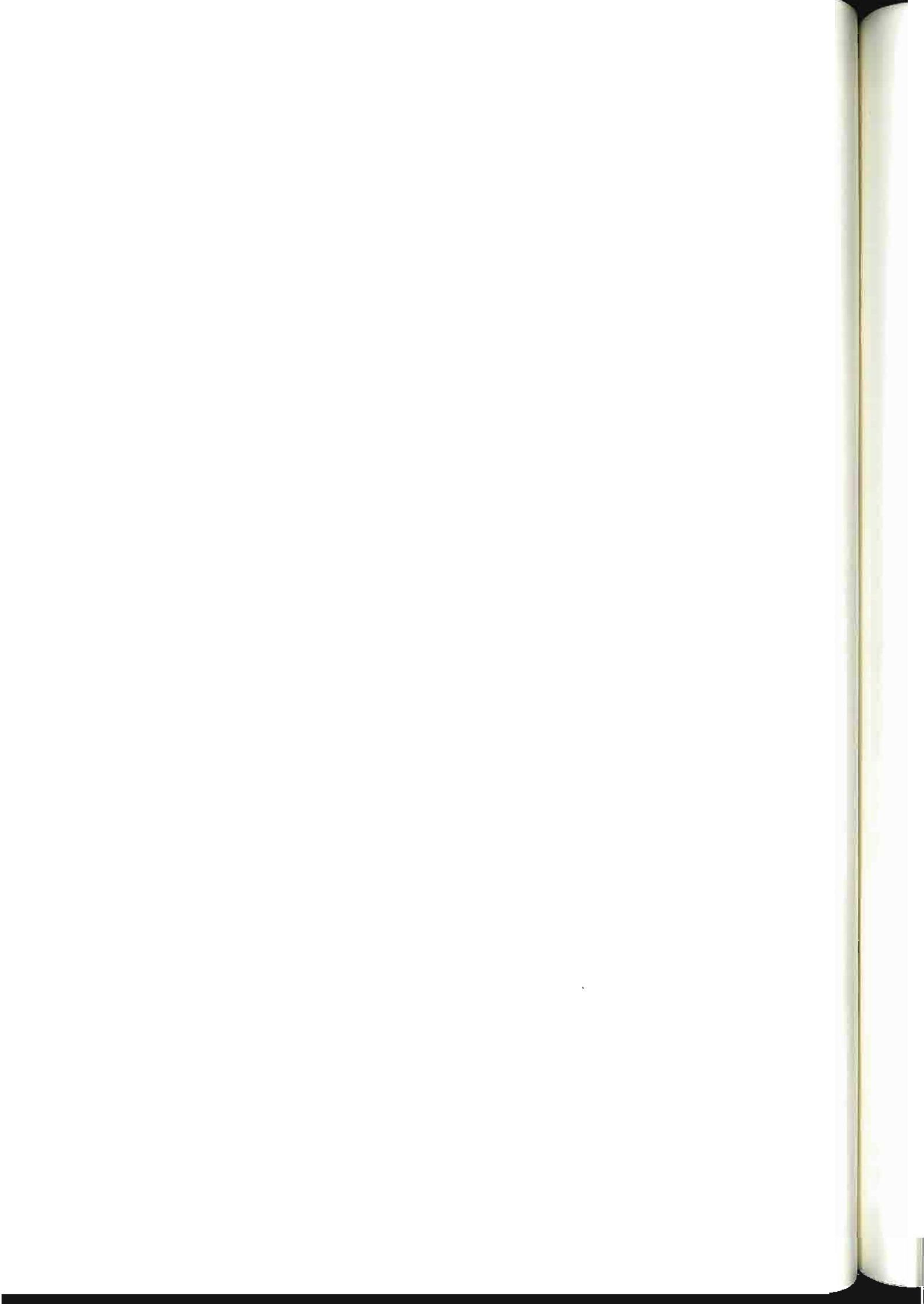




写真-7 安定化が進んだ地すべり地上部。  
1986年（昭和61年）5月撮影。

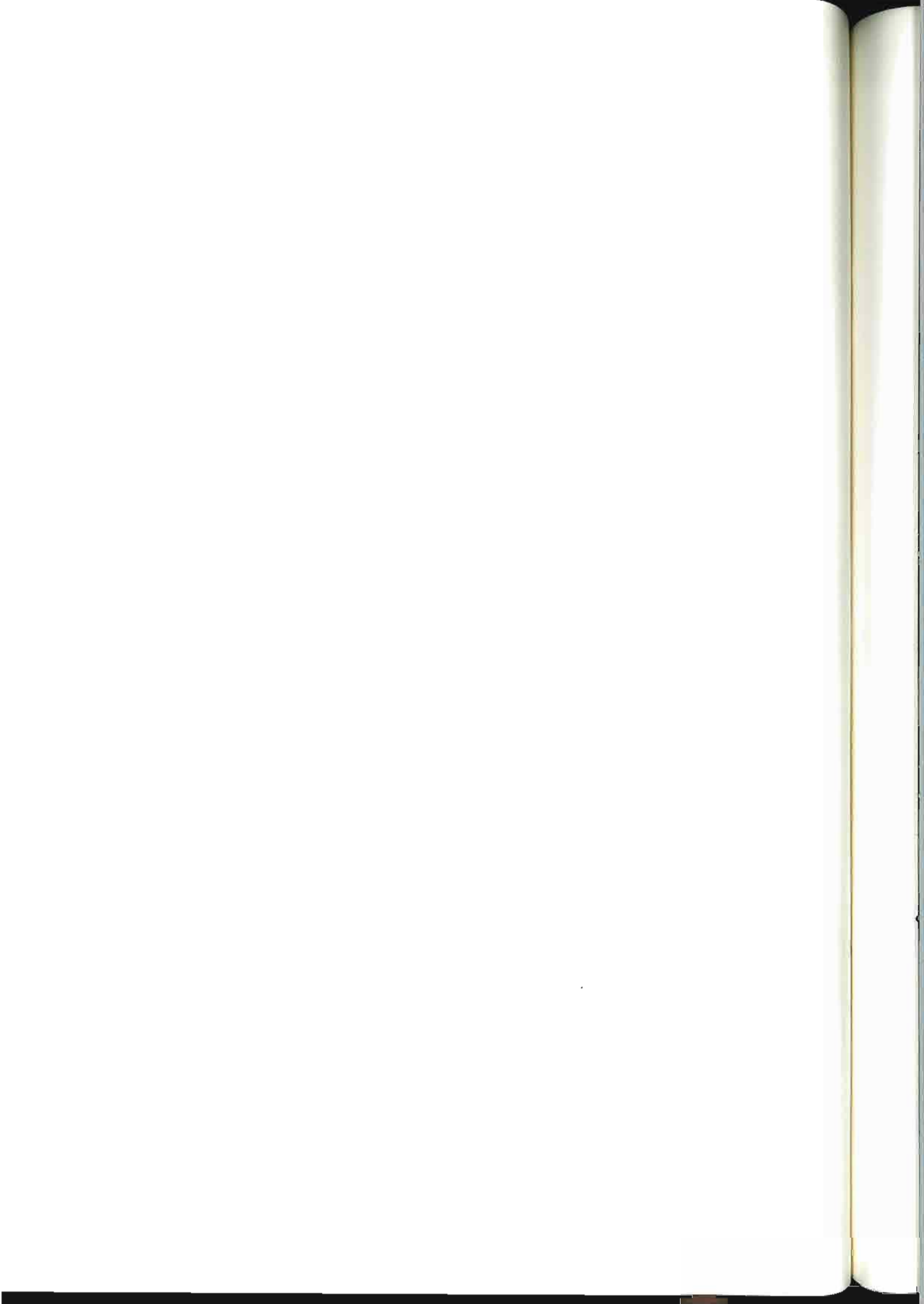


写真-8 安定化が進んだ地すべり地下部。  
1986年（昭和61年）5月撮影。





写真-9 1947年（昭和22年）撮影空中垂直写真（米軍撮影）。



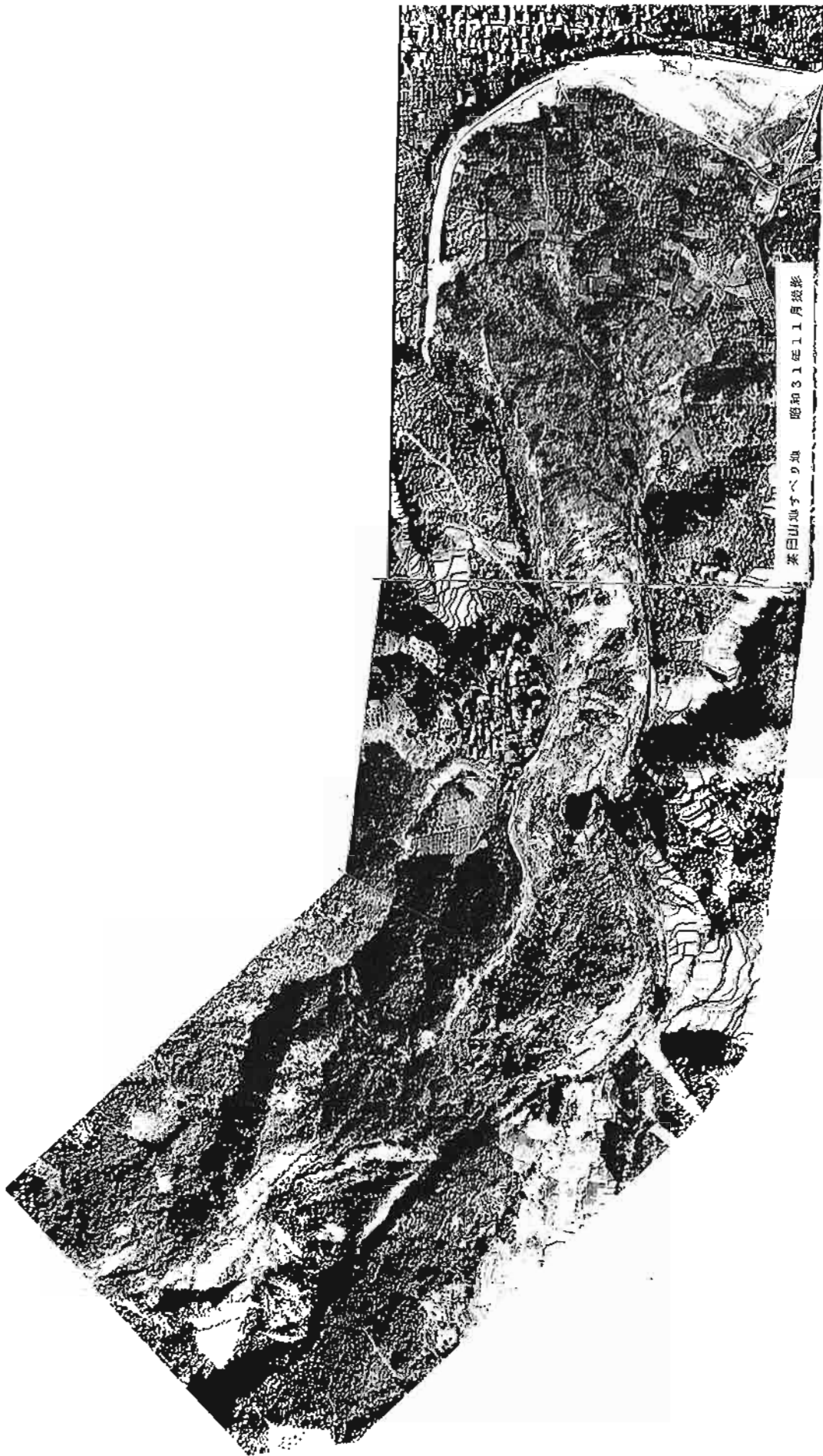


写真-10 1956年（昭和31年）撮影空中垂直写真。





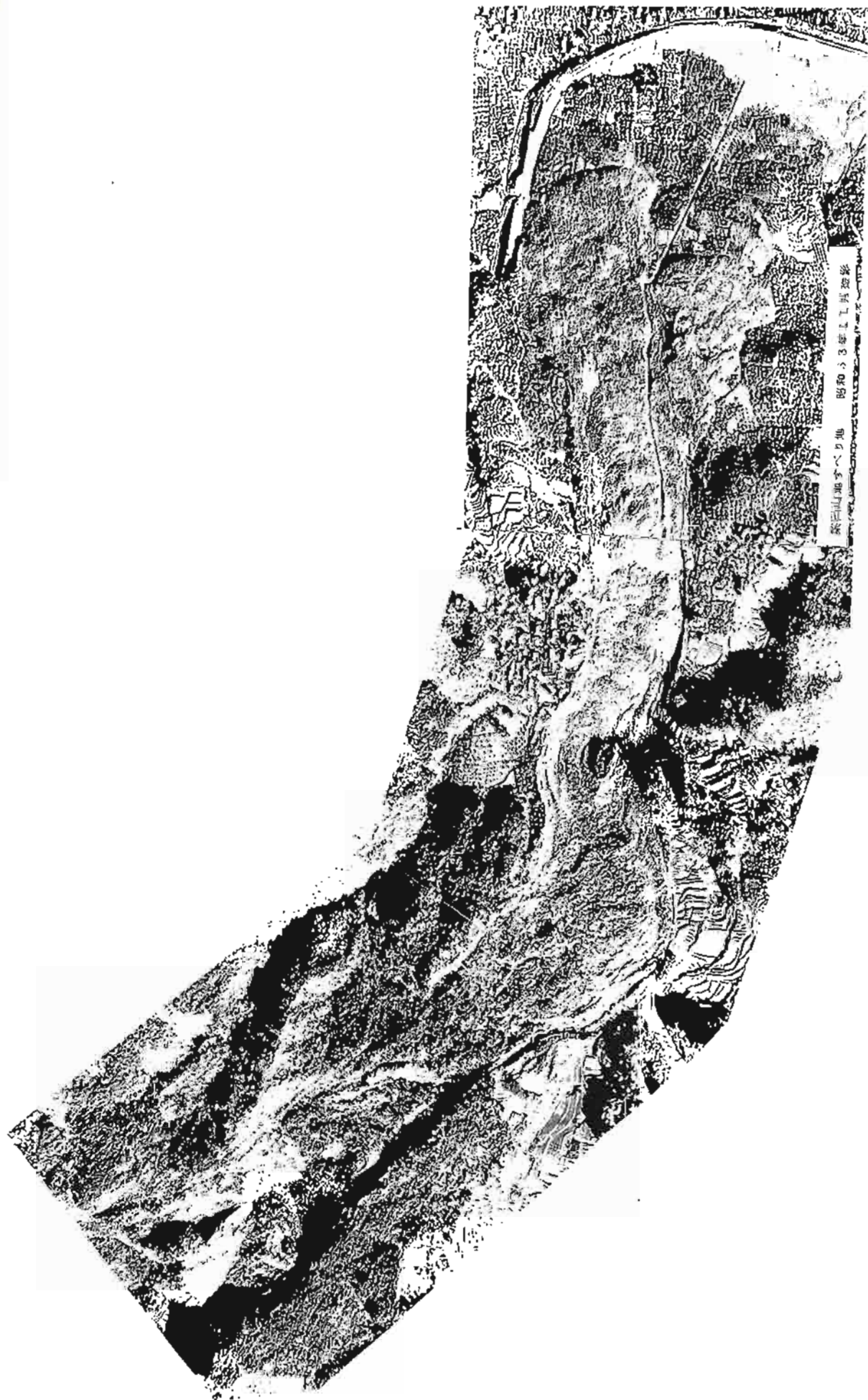
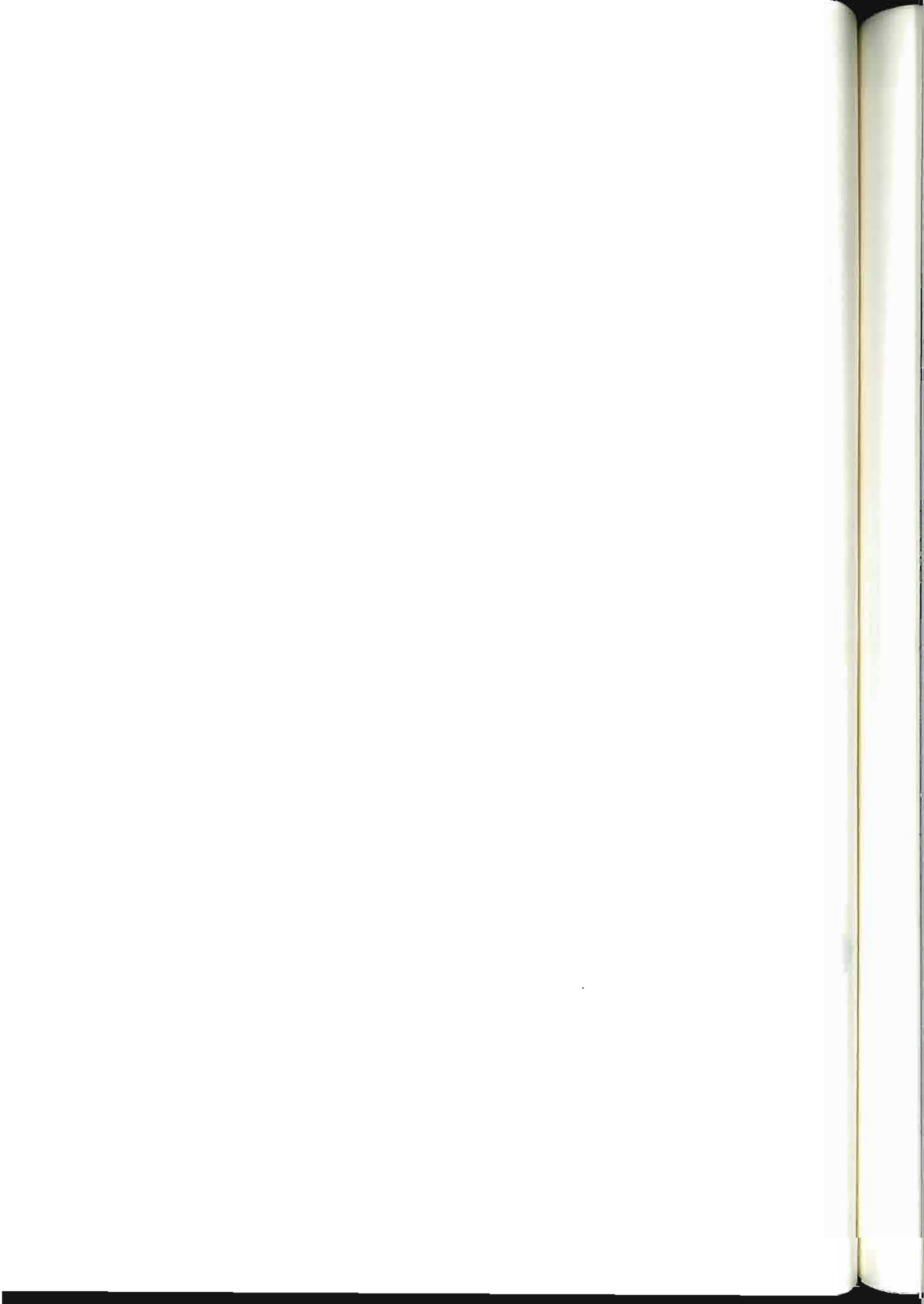


写真-11 1958年(昭和33年)撮影空中垂直写真。





写真-12 1965年(昭和40年)撮影空中垂直写真。



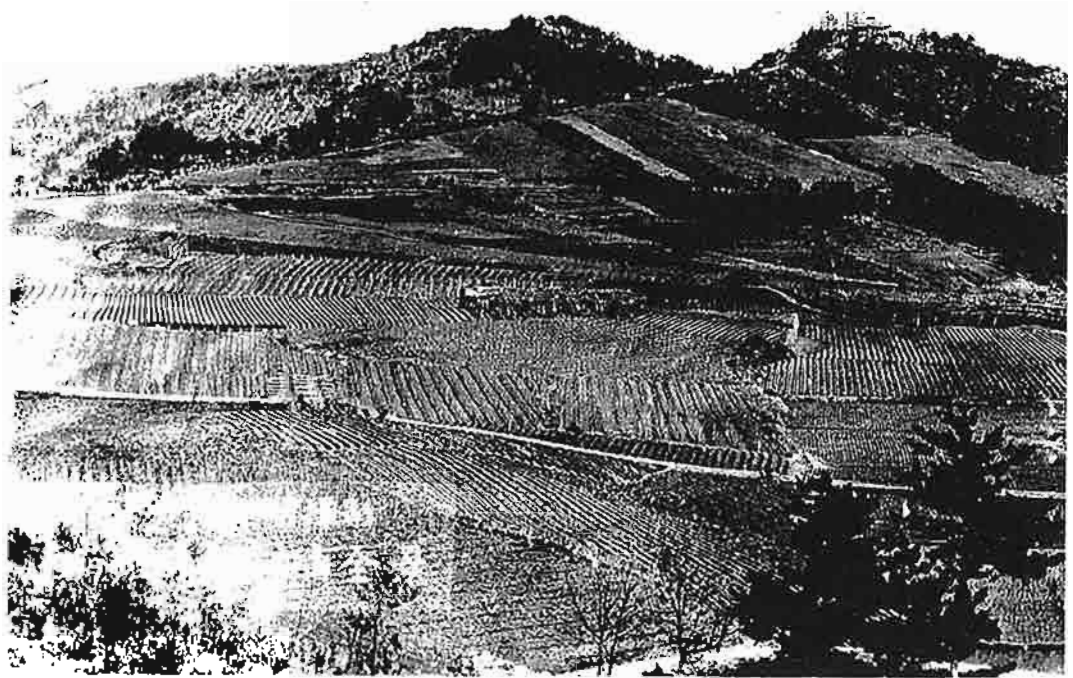


写真-13 崩壊前の茶臼山全景。向かって右が南峯、左が北峯。南峯頂上に小峯神社があったが、地すべりで危険になったため有旅大池傍へ移した。長野市篠ノ井信里区笹鍋北から望む。1929年（昭和4年）4月撮影。

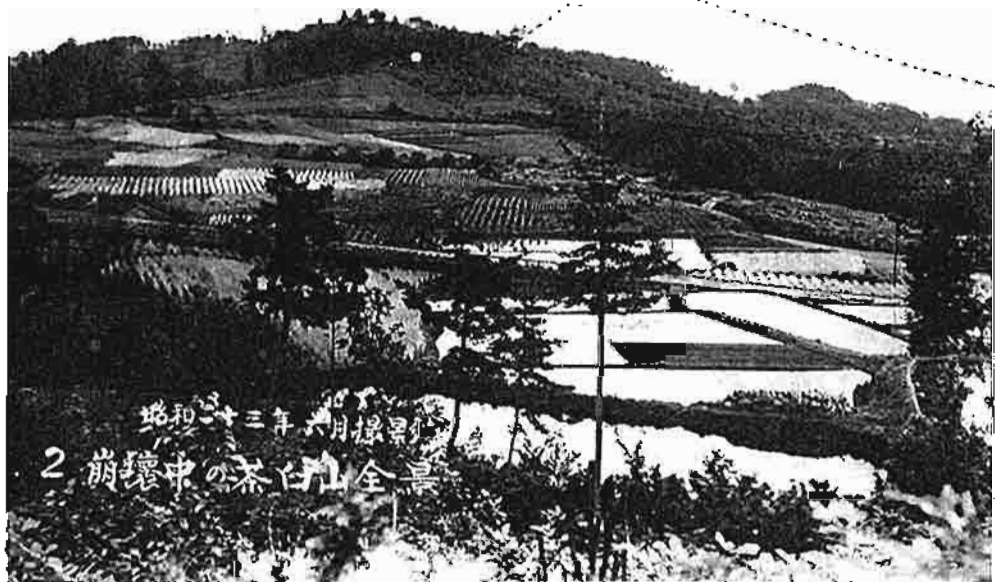


写真-14 崩壊後の茶臼山。波線部分が崩壊により、なくなった所。1948年（昭和23年）6月撮影。



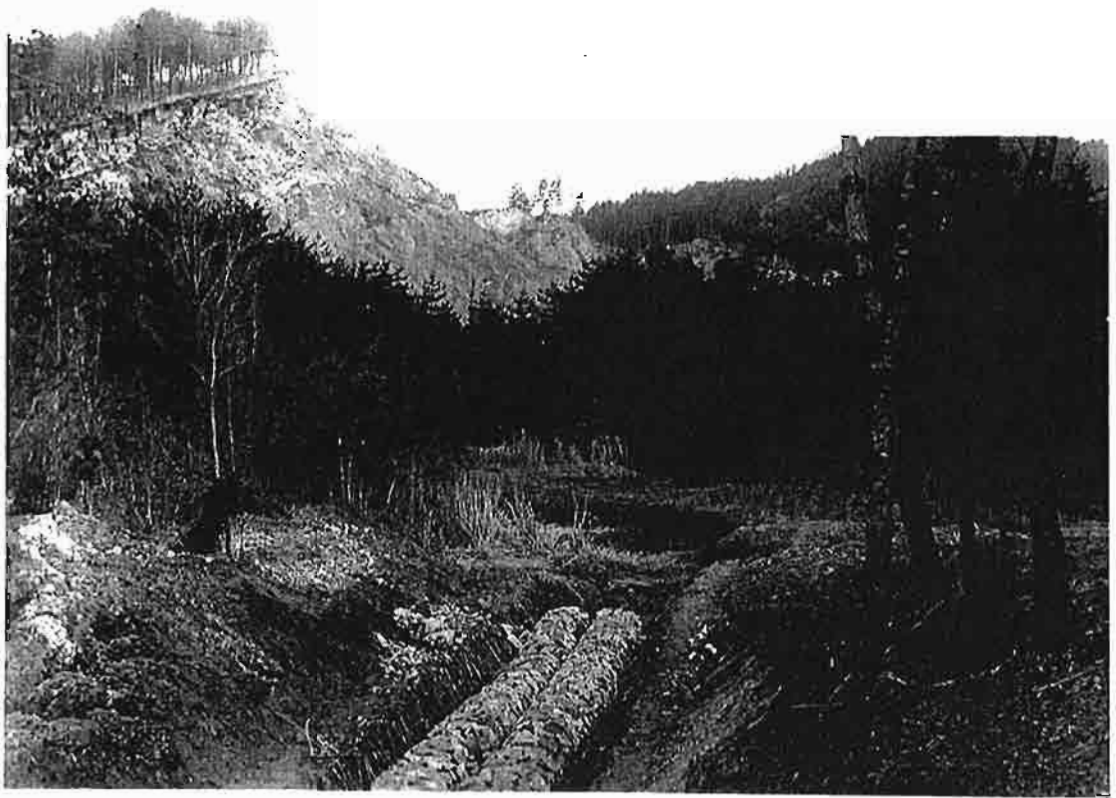


写真-15 地すべり地最上部の状況。樹木が整然と乱れずに地下してきた状況がわかる。  
1933年（昭和8年）5月撮影。



写真-16 宇土沢川への滑落状況。1933年（昭和8年）6月撮影。

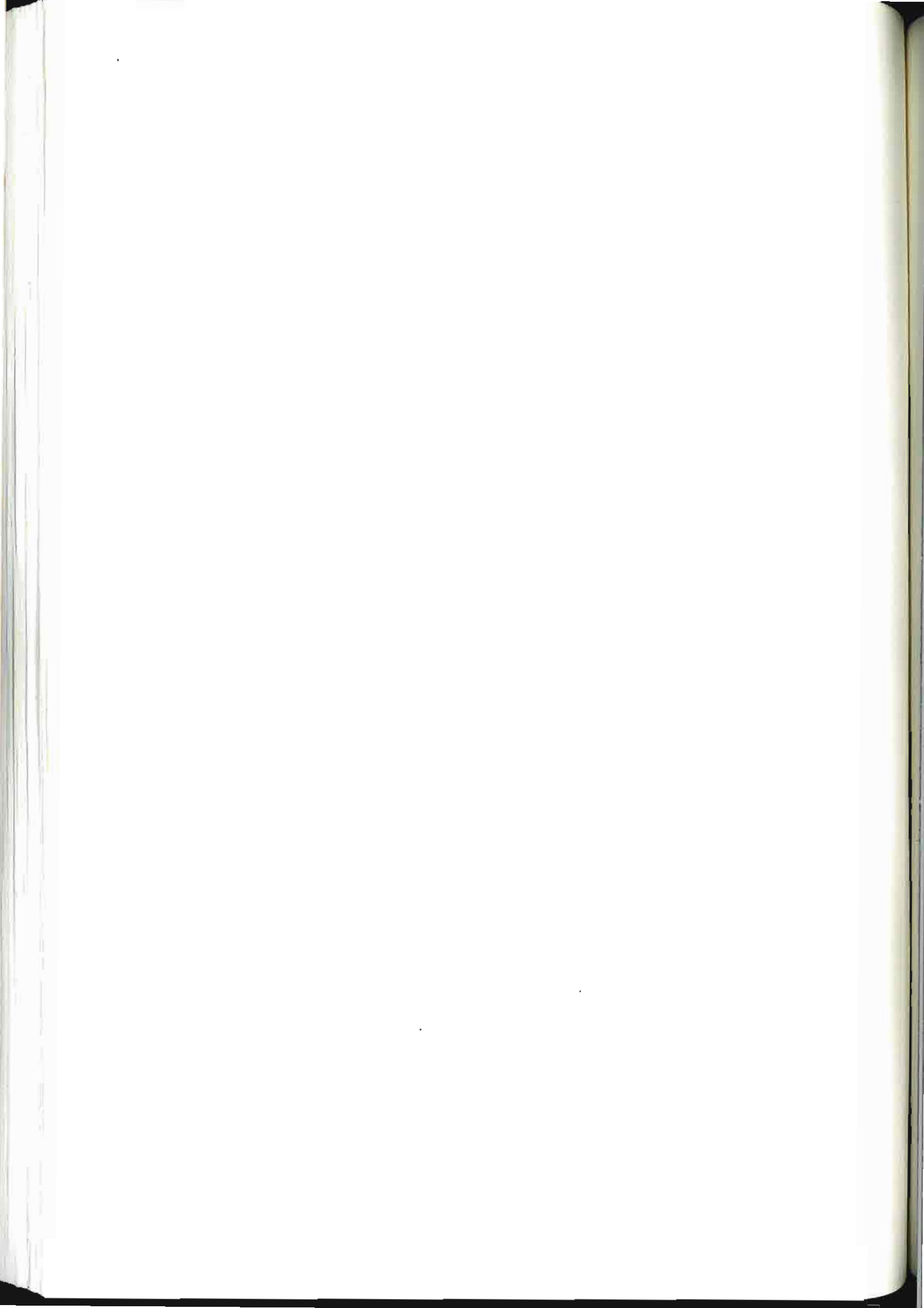






写真-17 地すべり地最上部の状況。  
右岸側滑落崖。1933年（昭和8年）5月撮影。



写真-18 最上部滑落崖および地すべり発生地帯左岸側の状況。  
宇土沢川へ滑動する状況が望まれる。1933年（昭和8年）5月撮影。

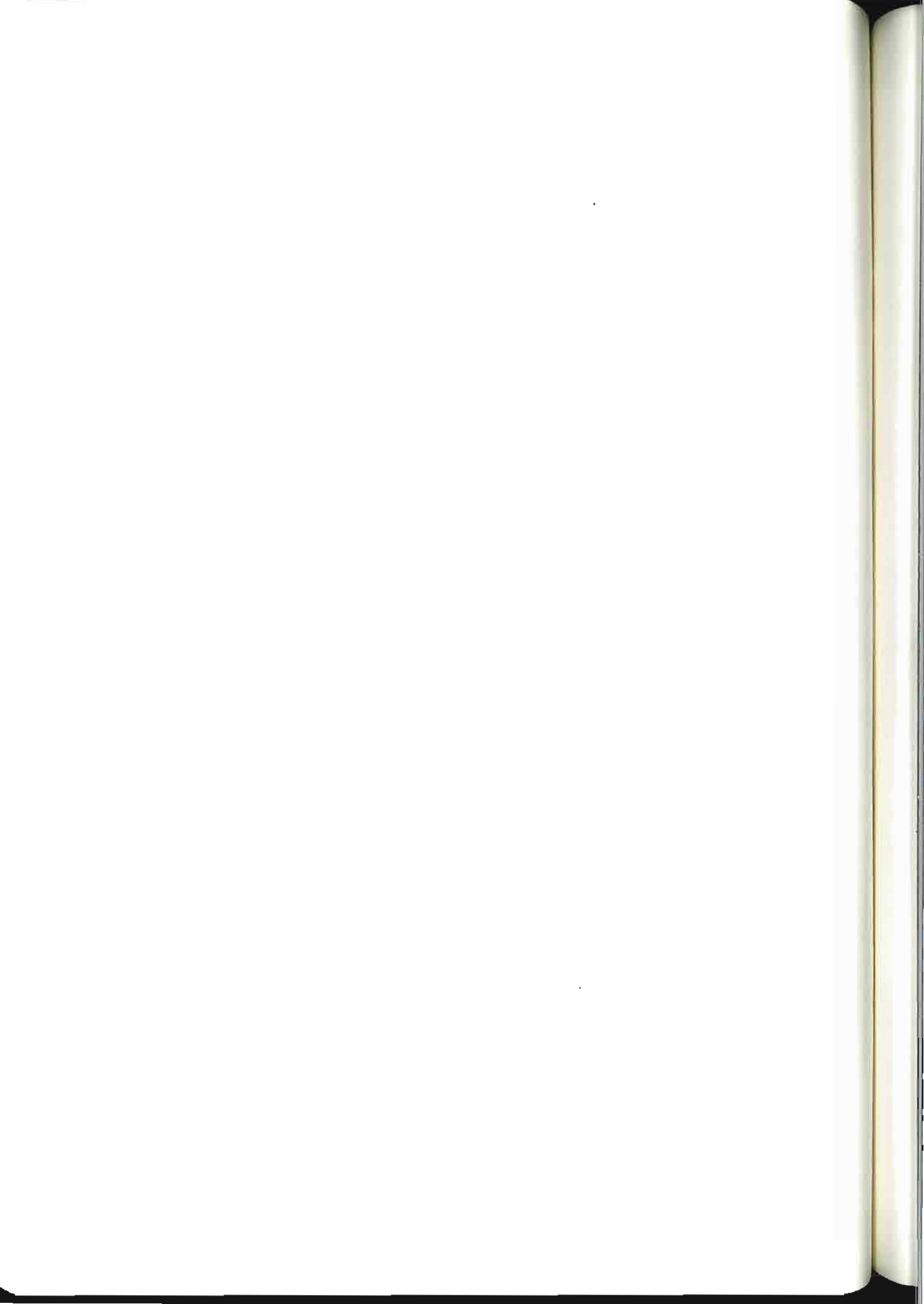




写真-19 蛇籠水路施工中の状況。  
1933年（昭和8年）5月撮影。

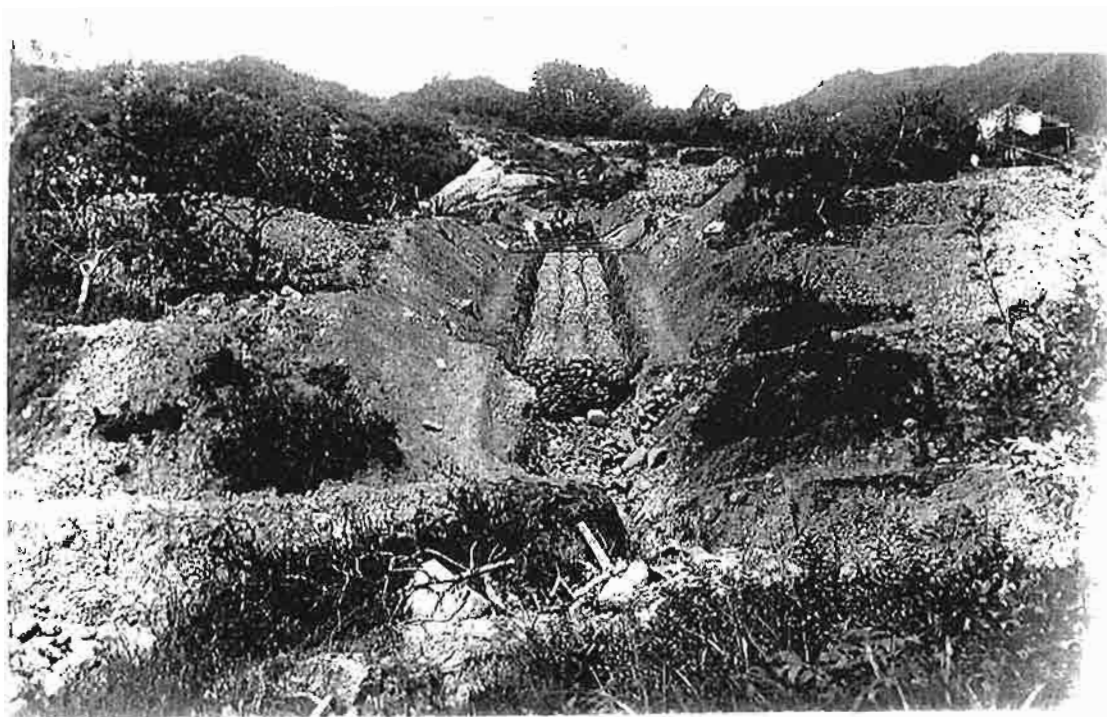


写真-20 蛇籠水路工の蛇籠埋設状況。  
不動島下方から北側。1933年（昭和8年）8月撮影。

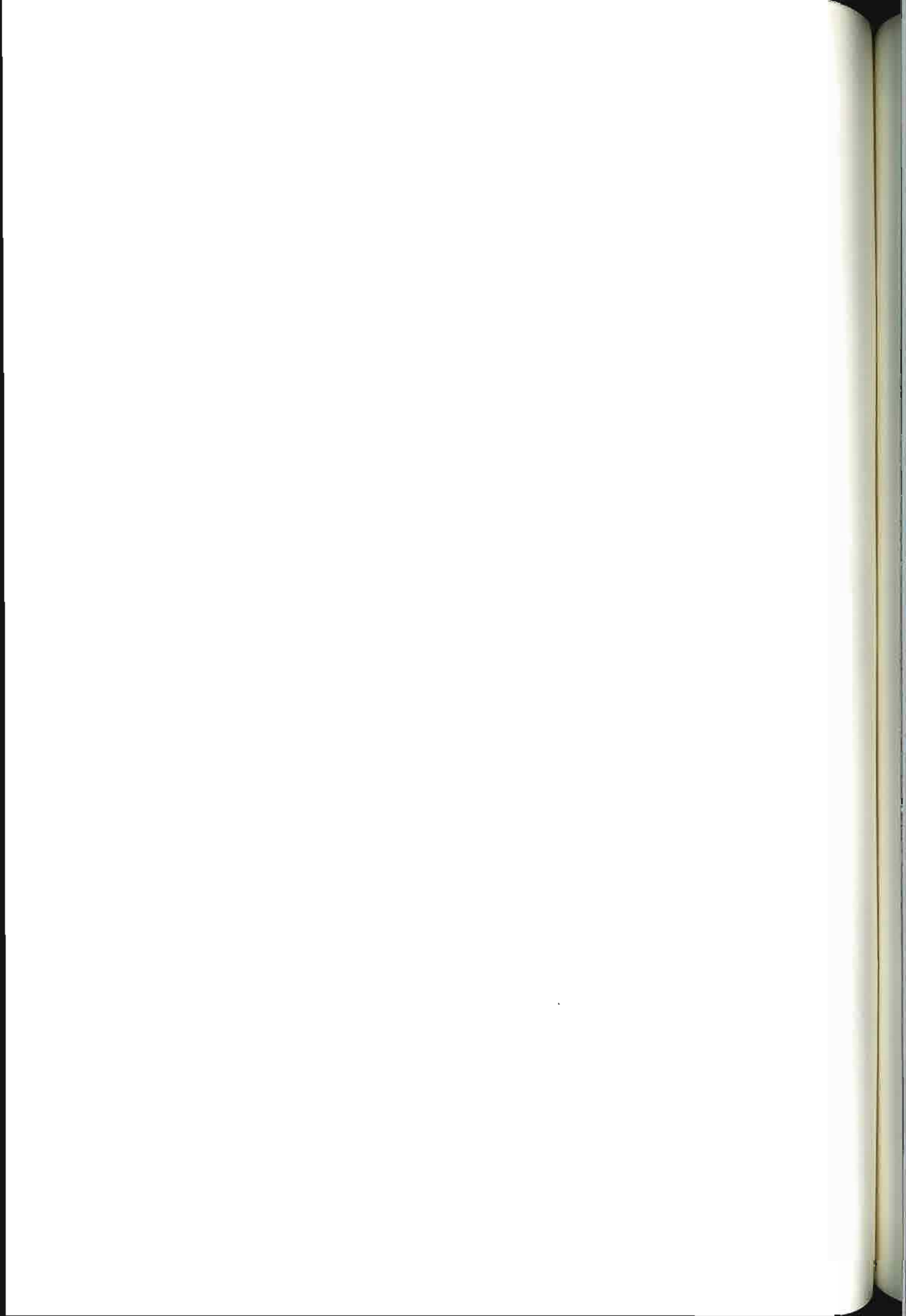




写真-21  
山新田集落  
西南の蛇籠水  
路工事施工  
中の状況。1933  
年(昭和8年)12  
月撮影。



写真-22  
蛇籠埋設状  
況。第3支線  
延長50m。1933  
年(昭和8年)8  
月撮影。



写真-23  
昭和7年度  
施工の蛇籠水  
路工の変形状  
況。1933年(昭  
和8年)12月  
撮影。





写真-24  
昭和7年度  
施工の蛇籠水  
路工の変形状  
況。1933年(昭  
和8年)10月撮  
影。

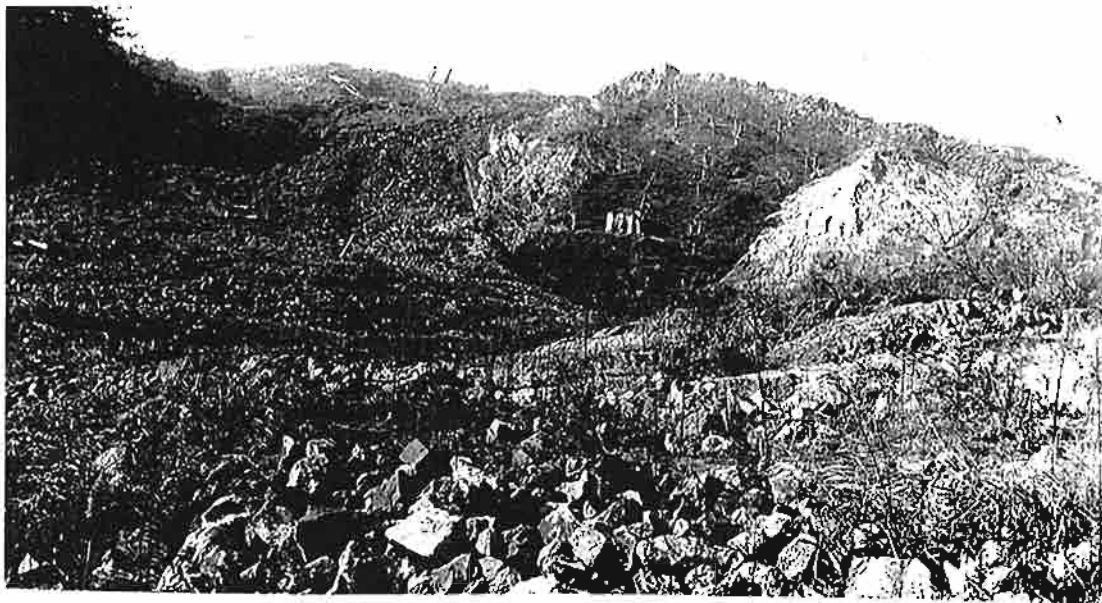


写真-25  
不動島周辺  
の状況。地す  
べり上塊が不  
動島に押しつ  
け、盛り上が  
っている。1934  
年(昭和9年)12  
月撮影。



写真-26  
山新田集落  
の対岸から見  
た山頂と不動  
島周辺の状  
況。1937年(昭  
和12年)5月撮  
影。







写真-27  
山新田集落  
南方の地すべり  
上塊押し出し  
状況。1936  
年(昭和11年)  
撮影。



写真-28  
宇土沢川付  
け替え工事、  
山新田集落上  
部の暗渠取入  
口。1935年(昭  
和10年)10月  
撮影。

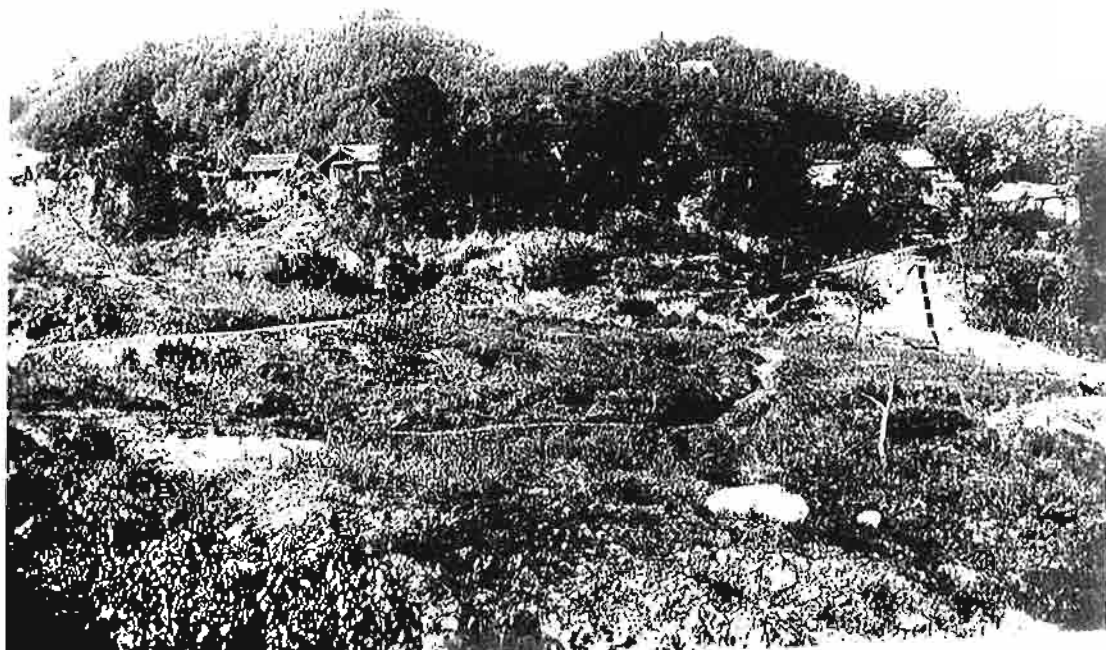


写真-29  
宇土沢川付  
け替え工事、  
山新田集落内  
通過の暗渠水  
路の出口。こ  
の水路はその  
後カニ沢へま  
わす。1935年  
(昭和10年)10  
月撮影。





写真-30  
滝沢川下流部に施工した寺内堰堤竣工時の状況。1936年(昭和11年)3月撮影。

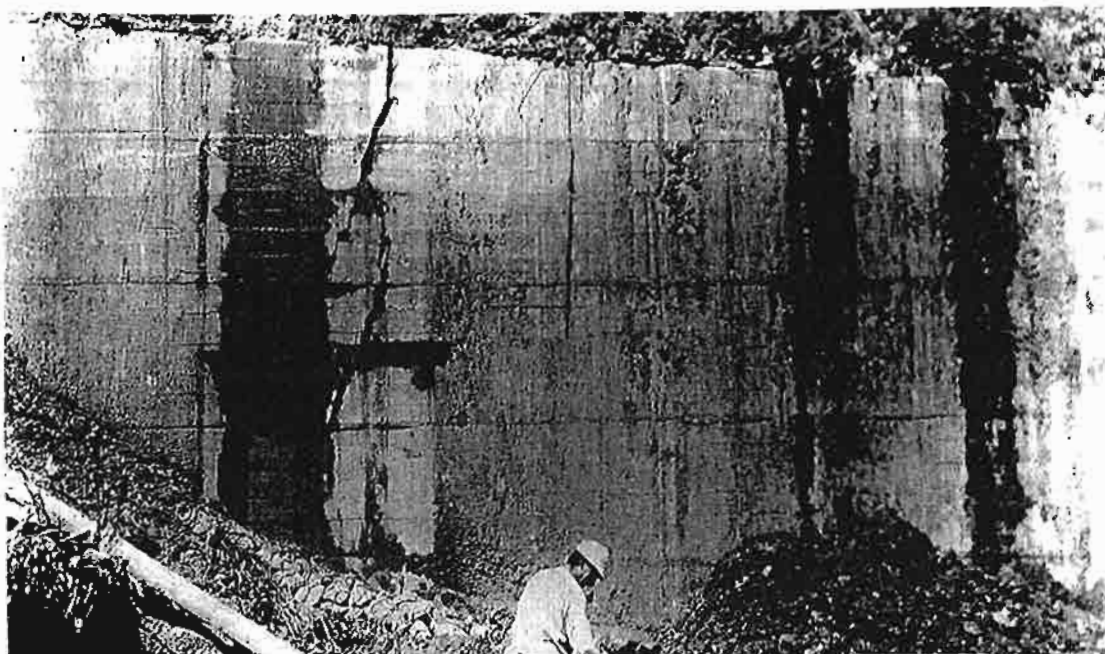


写真-31  
寺内堰堤右岸袖部に亀裂が入った状況。1936年(昭和11年)6月撮影。



写真-32  
寺内堰堤を土砂が乗り越えている状況。1936年(昭和11年)7月撮影。





写真-33

寺内堰堤を埋没した土砂が下流へ滑動している状況。下流の谷止工はその後土砂で持ち上げられる。1937年(昭和12年)9月撮影。

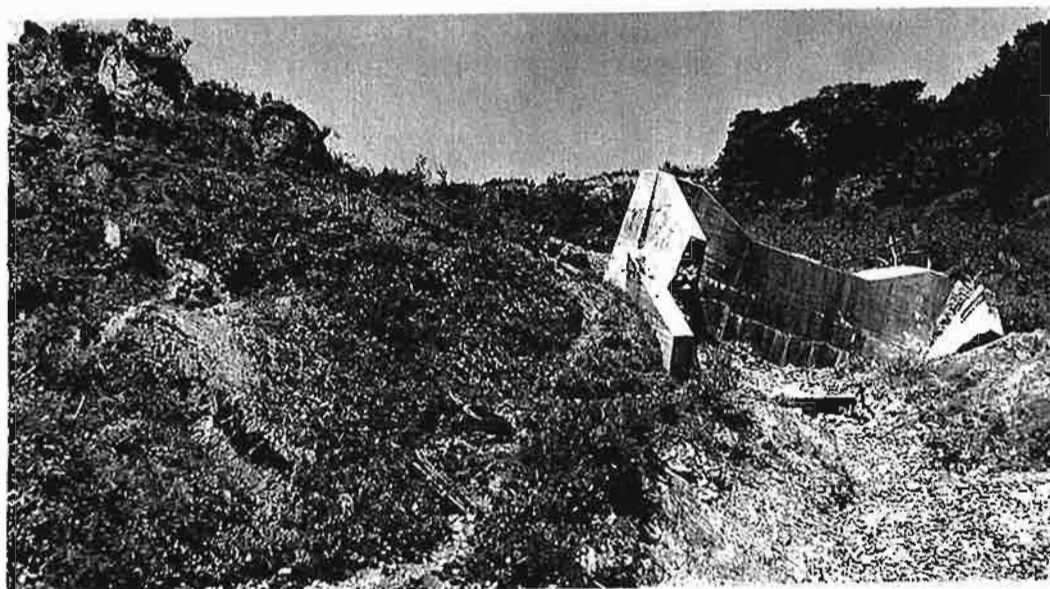


写真-34

地すべり上塊で持ち上げられた谷止め工。1941年(昭和16年)6月撮影。



写真-35

滝沢川下流部に施工した岡田堰堤竣工時の状況。1949年(昭和24年)10月撮影。

昭和二十四年十月撮影  
34 二十四年七月竣工の岡田北堤  
長40.0米 高8.0米





写真-36 岡田堰堤と周辺の状況。  
1949年（昭和24年）11月撮影。



写真-37 埋没寸前の岡田堰堤。  
1950年（昭和25年）6月撮影。





昭和二十五年六月撮影  
排水トンネル掘設中  
坑入口付近  
38

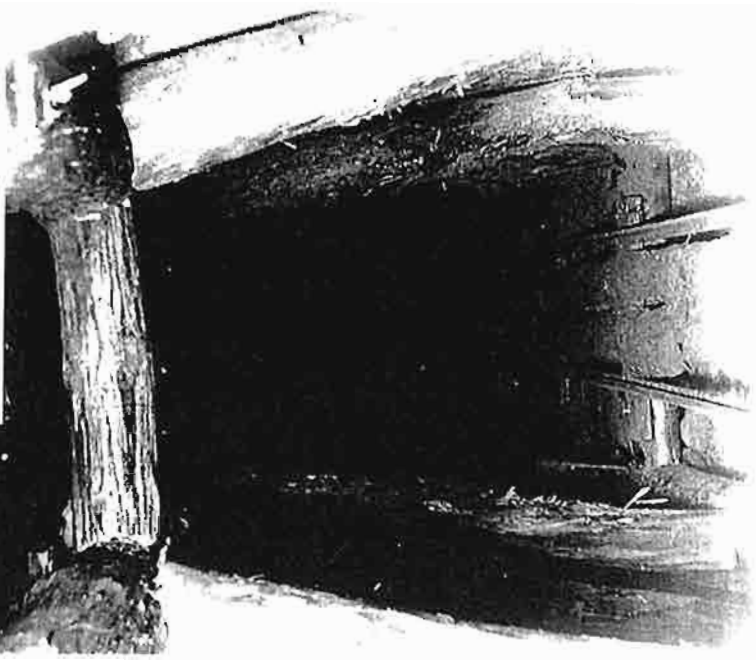


写真-40 排水トンネル内部の状況。  
1950年(昭和25年)6月撮影。

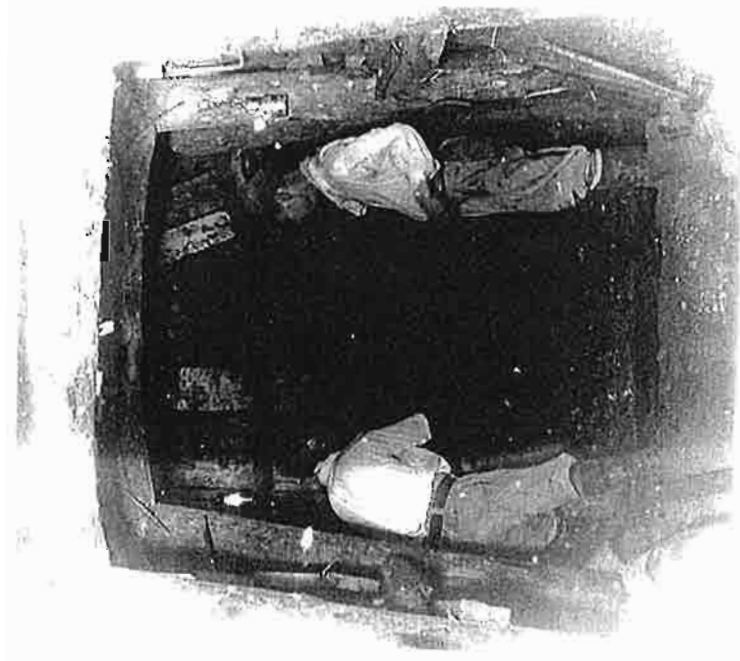


写真-39 排水トンネル掘削中の状況。  
1950年(昭和25年)6月撮影。

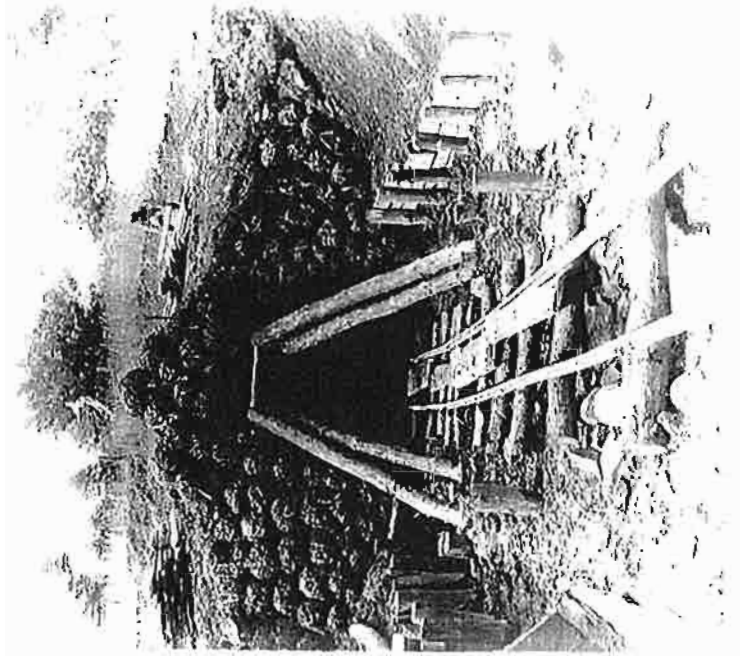


写真-38 排水トンネル坑口の状況。  
1950年(昭和25年)6月撮影。

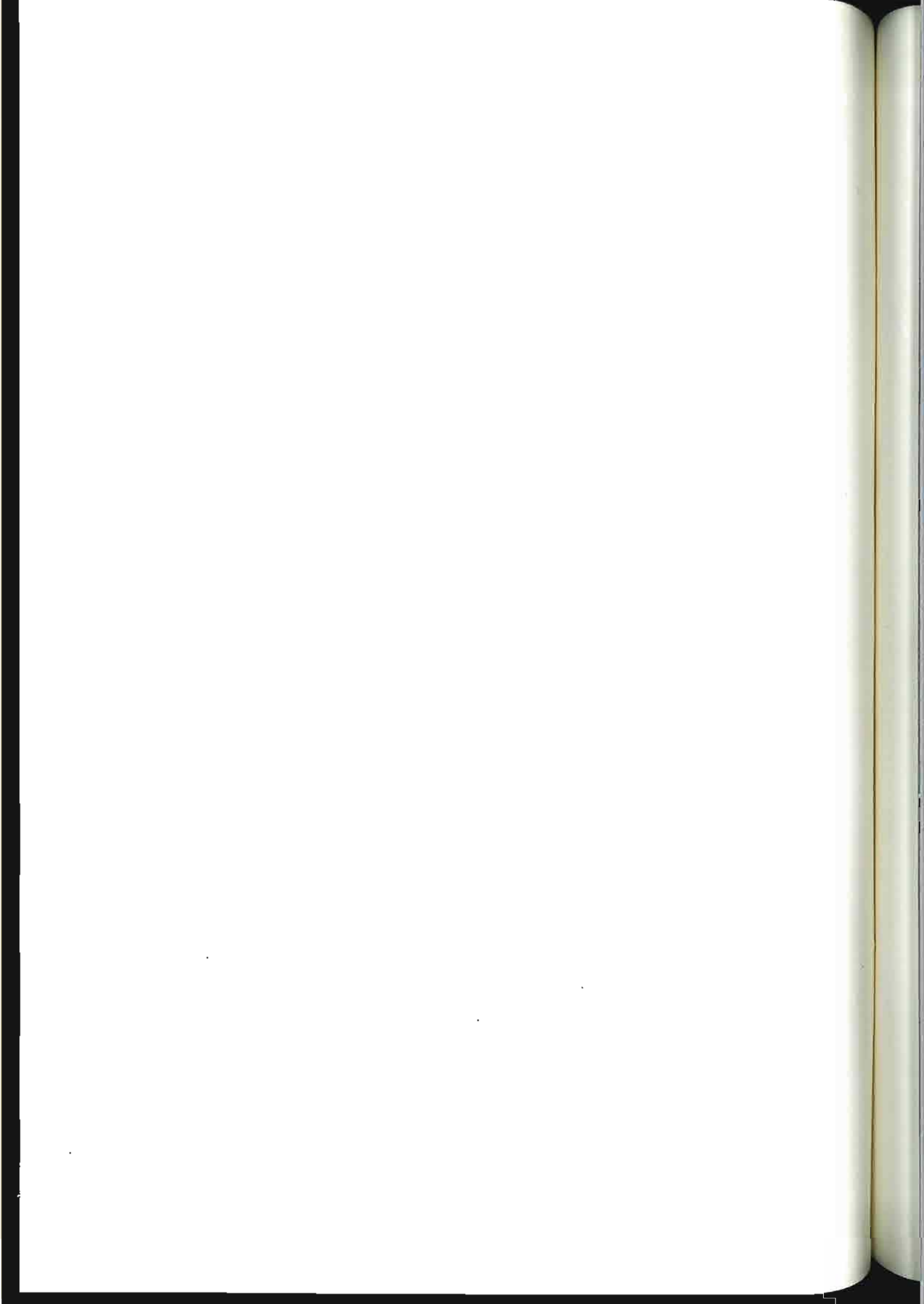




写真-41 地すべり地上部の状況。  
1949年（昭和24年）5月撮影。



写真-42 有旅集落の東方から地すべり地上部を望む。  
1956年（昭和31年）8月撮影。



写真-43 岡田川の堤防から見た地すべり地末端部の状況。手前の家々が岡田集落。  
1956年（昭和31年）8月撮影。